
ANNALES

DE

L'INSTITUT PASTEUR

ÉTUDES SUR L'ACTION SOLAIRE

(PREMIER MÉMOIRE)

PAR M. E. DUCLAUX

La puissance hygiénique de l'action solaire prend une telle place dans les préoccupations des savants que je crois devoir publier les études actinométriques que j'ai poursuivies depuis quelques années. Dans quelles conditions se manifeste cette activité spéciale de la lumière ? Comment varie-t-elle avec l'altitude, la latitude, les conditions climatériques ? La présence des nuages l'interrompt-elle ? Des jours également lumineux sont-ils également actifs au point de vue de leur action sur les microbes, leurs milieux de culture, leurs sécrétions, leurs toxines ? Voilà quelques-unes des questions qui se posent. Elles sont tellement vastes et tellement complexes que je n'ai pu me proposer que d'en ébaucher l'étude, et je voudrais seulement exposer les premiers résultats auxquels j'ai été conduit.

Pour laisser la question sur le terrain de l'hygiène qui est celui où elle a le plus d'importance, il aurait fallu employer comme réactifs de l'action à étudier des microbes convenablement choisis, des virus ou des toxines capables d'atténuation. J'ai pensé qu'il était beaucoup plus simple et qu'il serait beaucoup plus rapide de s'adresser à un phénomène chimique, à une de ces réactions oxydantes que la lumière peut provoquer, et auxquelles on se trouve conduit, en dernière analyse, quand on cherche le mécanisme profond de l'action de la lumière sur un être vivant, sur son alimentation ou sur ses sécrétions. On se

heurte toujours alors à un phénomène chimique, c'est-à-dire à un phénomène qui dépend surtout de la partie chimique du spectre solaire, à l'exclusion des rayonnements purement calorifiques ou lumineux.

C'est en somme de l'actinométrie que j'ai voulu faire, mais par une méthode permettant de séparer, mieux qu'on ne l'a fait jusqu'ici, les trois sortes d'action, chimique, calorifique et lumineuse qui voyagent ensemble dans un rayon de soleil, et qui sont inégalement absorbées par les milieux qu'elles traversent. De ces trois actions je voulais, autant que possible, n'étudier que la première. Pour cela, je ne pouvais recourir à la méthode employée par MM. Bunsen et Roscoë au début de l'actinométrie, méthode qui repose sur l'emploi d'un mélange de chlore et d'hydrogène qu'on expose à la lumière. On juge de l'intensité de l'action chimique par la quantité d'acide chlorhydrique formé dans un temps donné, ou plutôt par la diminution de volume qui en est la conséquence. Cette méthode a deux défauts graves. Le premier est que la réaction peut se produire sous l'effet de la chaleur aussi bien que sous celui des rayons chimiques, et qu'elle laisse confondues deux actions qu'il s'agirait d'isoler. Le second, beaucoup plus sérieux, est que la réaction est extrêmement exothermique, et par suite se continue, une fois commencée, sous l'influence de la chaleur qu'elle développe. L'action initiale est seulement excitatrice, et met en jeu un mécanisme qui fonctionne en dehors d'elle. On s'efforce, il est vrai, de réduire au minimum le jeu de ce mécanisme en n'opérant que sur de faibles quantités de gaz, et en multipliant les surfaces de refroidissement, de façon que le phénomène ait sans cesse besoin d'une excitation nouvelle pour se continuer. Mais on n'échappe pas à ce défaut de proportionnalité entre la cause et l'effet, qui rend les mesures presque illusoires.

On retrouve les mêmes défauts, sensiblement atténués, dans la méthode souvent utilisée qui repose sur la réduction du peroxyde de fer à la lumière. Depuis l'observation initiale de Döbereiner, H. Draper, Marchand, G. Lemoine ont utilisé cette réaction. Comme dans la précédente, le mélange de perchlorure de fer et d'acide oxalique se réduit sous l'influence de la chaleur seule, et, bien que cette réduction soit lente, elle intervient comme cause d'erreur. De plus, le liquide est coloré et se décolore à mesure

que l'action progresse. Les conditions d'absorption sont donc modifiées pendant la mesure, et par un phénomène en quelque sorte extérieur. Enfin la réaction est encore assez exothermique pour qu'il faille en tenir compte. Tous ces défauts ont été corrigés le mieux possible par M. G. Lemoine, qui fait depuis longtemps une étude attentive et soigneuse du procédé. Mais les précautions à prendre ne laissent pas à la méthode une simplicité suffisante pour le but que je voulais atteindre.

L'idéal serait de découvrir un liquide limpide et transparent, ne changeant pas pendant la réaction, ne donnant pas de précipité, et devenant le siège d'un phénomène chimique facilement mesurable qui ne pourrait être produit par l'action de la chaleur. Peut-on aller plus loin dans ces exigences? M. Berthelot ne le croit pas et pense que l'apport d'énergie provenant de l'absorption de radiations calorifiques, lumineuses ou chimiques, serait insuffisant pour produire un phénomène chimique, si celui-ci ne produisait pas un peu de chaleur. Je ne vois pas bien pourquoi une absorption calorifique de lumière solaire ne pourrait pas compenser une chaleur de combinaison, et permettre à des réactions, même un peu endothermiques, de se manifester. J'ai cherché à en découvrir de pareilles, dont l'interprétation fût sans ambages. Je n'en ai pas trouvé. J'ai été forcé de revenir à une réaction anciennement connue, l'oxydation que subissent à la lumière les solutions d'acide oxalique.

Ces solutions sont transparentes. L'acide oxalique devient au soleil de l'acide carbonique qui disparaît, de sorte que l'oxydation subie s'apprécie facilement par un dosage acidimétrique fait avant et après l'exposition à la lumière. La réaction produite est faiblement exothermique dans des solutions aussi étendues, car nous verrons qu'il ne faut pas dépasser 3 grammes d'acide oxalique par litre. De plus, je me suis assuré que le dégagement de chaleur produit par la réaction, alors même qu'il serait plus sensible, serait sans effet, car l'acide oxalique ne s'oxyde qu'avec une lenteur extrême sous l'influence de la chaleur seule.

Exp. — 10 c. c. de solution d'acide oxalique titrant 19,0 c. c. d'eau de chaux sont chauffés au bain-marie, à 95° environ, dans des ballons de 125,0 c. c.

Après 4 heures de chauffe, le titre est de 18,5, perte 2,6 0/0.

— 8 — — — 18,0 — 5,2 0/0.

EXP. — 10 c. c. d'une autre solution titrant 16,6 c. c. d'eau de chaux sont chauffés de même une demi-heure et une heure à 115° : le titre tombe à 16,1 c. c. et 16,2 c. c.

Pendant les journées de plus forte chaleur, la température dans les cuvettes où j'expose l'acide au soleil ne dépasse pas 40°; on peut donc admettre que ni la chaleur solaire ni la chaleur produite par la réaction n'ont une influence sensible sur la combustion au soleil, qui peut dépasser 50 0/0 de l'acide oxalique.

Les rayons calorifiques étant à peu près sans action, il serait souhaitable de pouvoir éliminer de même l'action des rayons lumineux. Peut-être pourrait-on y arriver, car, comme nous le verrons bientôt, la portion utilisée de la radiation solaire est surtout la portion chimique. Je n'ai pas jugé que la chose soit utile. C'eût été trop s'éloigner des conditions hygiéniques, car, même dans les climats les plus froids, la lumière agit en même temps que les rayons chimiques. J'expose donc sans écran ma solution au soleil. Étudions ce qui s'y produit.

Exposé à la lumière, l'acide oxalique absorbe de l'oxygène et se transforme à peu près intégralement en acide carbonique. Il se forme aussi un peu d'acide formique, mais en quantités presque infinitésimales. Il en résulte que l'acide oxydé peut s'apprécier par un simple dosage acidimétrique.

Influence de la concentration. Pour faire l'étude du procédé actinométrique, la première chose à faire était de chercher quel est le degré de concentration de la liqueur qui donne la sensibilité maxima. Pour le savoir, j'ai exposé au soleil dans les mêmes conditions, du 4 au 6 juin 1885, pendant trois belles journées comprenant environ 36 heures d'insolation, 10 c. c. de quatre liqueurs contenant respectivement 63 grammes, 31^{gr},5, 12^{gr},6 et 6^{gr},3 d'acide oxalique par litre, soit 1, 1/2, 1/5 et 1/10 d'équivalent par litre. Voici quelles ont été au bout de ce temps les quantités absolues et les proportions d'acide brûlé dans ces liqueurs.

| | | | | |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Liqueur à..... | 63 ^{gr} | 31 ^{gr} ,5 | 12 ^{gr} ,6 | 6 ^{gr} ,3 |
| Quantité d'acide brûlé.. | 0 ^{gr} ,025 | 0 ^{gr} ,028 | 0 ^{gr} ,047 | 0 ^{gr} ,033 |
| Proportion d'acide brûlé. | 0,04 | 0,09 | 0,38 | 0,52 |

Les solutions concentrées se brûlent donc moins vite que les solutions étendues, et donnent une plus faible variation de

titre. Il faut d'un autre côté que les solutions ne soient pas trop étendues pour que l'échelle de mesure ne soit pas trop réduite. Je me suis arrêté à une liqueur dont la variation de titre pendant les journées les plus favorables ne dépasse guère la moitié du titre initial : c'est une solution demi-décime renfermant environ 3 grammes d'acide oxalique par litre. 10 c. c. de ce liquide sont saturés par environ le même volume d'eau de chaux ordinaire. La variation de titre journalière ne dépassait donc pas 5 c. c. d'eau de chaux, qu'on appréciait au 1/100 environ dans une burette graduée. La précision obtenue est ainsi plus que suffisante.

Influence de l'épaisseur du liquide. La quantité d'oxygène nécessaire pour transformer en acide carbonique la quantité d'acide oxalique contenue dans 10 c. c. de notre liqueur précédente est notablement supérieure à celle qui existe en solution dans le liquide. Il faut donc l'étaler en surface à l'air, et, quelle que soit la facilité de pénétration de l'oxygène dans un liquide exposé en surface pendant 8 à 10 heures à l'insolation, on peut se demander si une solution d'acide oxalique se brûle de la même façon dans un vase à fond plat, un verre conique ou un tube cylindrique.

Exp.— Les 16, 17, 18 et 19 août j'expose au soleil 10 c. c. d'une solution demi-décime d'acide oxalique : *a*, dans un verre conique ; *b*, dans un tube à essai ordinaire ; *c*, dans un matras de Bohême à fond plat. Pour assurer l'uniformité de température, le tube *b* est introduit debout dans le matras *c*. L'exposition dure de 8 h. du matin, à 3 h. 30 du soir. Voici les proportions d'acide brûlées :

| | <i>a.</i> | <i>b.</i> | <i>c.</i> |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 16 août | 29 0/0 | — | 65 0/0 |
| 17 » | 34 | 44 0/0 | 97 |
| 18 » | 34 | 43 | 84 |
| 19 » | 31 | 44 | 87 |

Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, la proportion d'acide brûlé est notablement plus grande dans un vase à fond plat que dans un tube cylindrique. La différence est même tellement notable que les difficultés de pénétration de l'oxygène ne suffisent pas à l'expliquer. La combustion de 13 0/0 d'acide, produite en 7 heures dans le matras *b*, n'exige pas plus de 0,4 c. c. d'oxygène, c'est-à-dire environ 6 fois la quantité normalement dissoute

dans le liquide. Quand on songe à la rapidité avec laquelle une eau s'aère, il est difficile de croire que ce soit l'oxygène qui ait manqué, et on se trouve conduit à penser que c'est l'action chimique qui a fait défaut. Si le faisceau incident de rayons solaires n'apporte avec lui qu'une faible provision d'énergie chimique, les couches superficielles du liquide oxydable absorbent pour elles ce qui est disponible, et forment écran pour les couches profondes qui restent intactes, alors même qu'il y aurait de l'oxygène pour brûler l'acide présent.

Cette conception, qui nous présente la radiation solaire comme pauvre en rayons chimiques, ou l'acide oxalique comme très exigeant à l'égard de ces radiations, mérite qu'on s'y arrête. En l'étudiant, nous pourrions peut-être nous renseigner sur le *quantum* d'action chimique à attendre de la lumière au voisinage du sol, et par conséquent sur le degré d'absorption atmosphérique. Pour nous renseigner à ce sujet, opérons sur des cuvettes cylindriques à fond plat, ayant au plus une hauteur de 1 centimètre, de façon que l'oxygène y ait toujours un facile accès. Si c'est l'influence actinique qui est rare ou qui fait défaut dans la lumière incidente, nous devrions pouvoir mettre en évidence les influences de la surface et de l'épaisseur du liquide. Pour des épaisseurs égales, la combustion devra être proportionnelle à la surface. Pour des surfaces égales avec des épaisseurs différentes, la combustion devra se faire surtout dans les couches superficielles et ne pas augmenter avec l'épaisseur, c'est-à-dire avec le volume du liquide, ou du moins, à cause de l'influence des parois et des mouvements du liquide, ne pas augmenter aussi rapidement que ce volume.

Exp. — Dans deux vases cylindriques très plats, j'introduis 10 c. c. et 20 c. c. d'une solution demi-décime d'acide oxalique. Après une journée assez sombre, un peu orageuse, je trouve que les quantités absolues d'acide brûlé dans les deux cuvettes sont de 28 et de 46. La combustion est donc proportionnellement plus forte dans le vase où l'épaisseur du liquide était moindre.

Exp. — Je me suis procuré deux cuvettes cylindriques de même hauteur, dont les surfaces étaient dans le rapport de 1 à 2, et que j'exposais au soleil, la première avec 10 c. c., la seconde avec 20 c. c. de liquide, de façon que les épaisseurs étaient les mêmes. Les quantités d'acide brûlé ont toujours été dans le rapport de 1 à 2, dans une nombreuse série d'expériences comparatives, avec une approximation égale à celle que comporte

le procédé de dosage. Du reste, point n'est besoin d'expériences spéciales, car deux cuvettes égales, exposées au soleil pendant le même temps, donnent à la fin de la journée le même titre, s'il n'est survenu aucun accident, chute de poussière ou autre chose.

Il y a donc un tamisage efficace de rayons actiniques par les premières couches traversées, et soit que ces rayons soient peu abondants, soit que le milieu soit très opaque pour eux, l'affaiblissement est rapide lorsque l'épaisseur augmente. Nous aurons à utiliser tous ces résultats quand nous chercherons la cause de l'absorption atmosphérique. Contentons-nous pour le moment d'en tirer une conclusion pratique, c'est qu'il faudra opérer dans des cuvettes d'égale dimension, avec des quantités égales de liquide, si on veut avoir des nombres comparables. Je me sers pour cela de petites cuvettes soufflées, en verre de Bohême, à fond plat, qu'on trouve dans le commerce, et que je choisis de même dimension, ce qu'on voit très facilement en les abouchant, et en cherchant si elles ont le même diamètre extérieur et la même épaisseur. Il n'est pas nécessaire de pousser plus loin la précision, étant données les autres incertitudes du procédé de mesure.

Celles dont je me suis servi dans toutes mes expériences avaient environ 5 c. de diamètre, et 10 c. c de liquide y avaient une hauteur d'environ 5 mill. Quand j'opérais à la campagne dans le Puy-de-Dôme ou dans le Cantal, où la poussière n'est pas calcaire, je les laissais ouvertes au soleil, sur une tablette exposée au midi. L'échauffement y est tempéré par l'évaporation, et j'ai dit plus haut que je n'avais jamais vu la température dépasser 40°; quelquefois pourtant, surtout lorsqu'il y a du vent, il faut craindre de voir l'évaporation faire disparaître tout le liquide. Il est facile d'éviter cet inconvénient qui fausse les mesures, en mettant la cuvette sur un bain d'eau dans un large cristalliseur, sur lequel elle flotte. On peut aussi augmenter le volume de la liqueur actinométrique, et opérer sur 20 c. c. au lieu de 10 c. c.; un facteur facile à trouver donne le coefficient de réduction qu'il faudra appliquer à la seconde des deux séries d'expériences pour la rendre comparable à la première.

Influence de l'âge de la dissolution. Nous arrivons ici à un fait imprévu, c'est qu'une dissolution récente d'acide oxalique ne se comporte pas comme une solution vieille de même concentration,

et se montre beaucoup plus rétive à l'action solaire. Ce n'est que peu à peu qu'elle se sensibilise. Il lui faut pour cela quelques semaines si elle est exposée à la lumière diffuse, et quelques heures seulement si elle est exposée au soleil.

Exp. — Le 5 septembre, je compare deux liqueurs contenant chacune 1^{gr},575 d'acide oxalique par litre, l'une vieille, l'autre que je viens de préparer. Le titre commun est de 22,8 c. c. d'eau de chaux pour 10 c. c. A la fin de la journée, qui a été un peu brumeuse, les titres sont de 16,2 c. c. dans deux cuvettes contenant de l'ancienne liqueur, de 21,7 c. c. dans deux cuvettes contenant la liqueur neuve. Les pertes sont donc de 6,7 c. c. et de 1,4 c. c. La vieille liqueur est donc six fois plus sensible que l'autre.

Le lendemain, la journée ayant été plus belle, les pertes sont de 8,5 c. c. pour l'ancienne liqueur, de 4,5 c. c. pour l'autre, c'est à peu près le même rapport que la veille.

Le 12 septembre, après une belle journée, deux essais couplés me donnent de même des pertes de 9,3 c. c. pour l'ancienne liqueur, de 5,9 c. c. pour la nouvelle. La différence de sensibilité a déjà beaucoup diminué après 6 jours passés à la lumière diffuse.

Le 25 septembre, après 20 jours, les pertes sont devenues 8,6 c. c. pour la première liqueur, 7,7 c. c. pour la seconde. Ce n'est pas encore l'égalité, qui n'est atteinte que dans le courant d'octobre, après plus d'un mois.

Le fait que deux liqueurs, l'une ancienne et l'autre jeune, atteignent, au bout de quelque temps, le même degré de sensibilité, prouve qu'il y a un maximum. Quand elle l'a atteint, la solution d'acide oxalique ne se différencie en rien de ce qu'elle était à l'origine, ni au point de vue physique, ni au point de vue chimique. Elle donne par évaporation le même acide cristallisé qu'à l'origine, et n'a même pas changé de titre acidimétrique, si on la protège, en la sensibilisant au soleil, contre l'action de l'oxygène. Il y a pourtant un travail moléculaire qui s'y est accompli, travail qui demande un certain temps, et qui ne se traduit que par une plus grande oxydabilité en présence de la lumière.

Le seul phénomène qu'on puisse, à ma connaissance, comparer à celui que nous venons de découvrir est l'augmentation de sensibilité qu'on observe dans un collodion quand on le laisse vieillir quelques jours. Le fait est bien connu des photographes, mais est encore trop obscur pour nous éclairer sur le nôtre. Du même ordre sont les faits que j'ai observés en faisant des instantanés avec des plaques au gélatino-bromure. On peut abrégér très sensiblement le temps de pose en ne découvrant

la lentille qu'après le passage d'un verre dépoli qui illumine un instant la plaque avant qu'elle ne reçoive l'impression de l'image à recueillir. On lui donne aussi une sorte d'ébranlement initial qui semble faciliter la gravure de l'image. On peut ainsi songer, comme analogie, à la variation du pouvoir rotatoire de quelques solutions sucrées après leur préparation. Mais ici les liqueurs semblent tendre à un état plus stable, tandis que nos solutions d'acide oxalique font des progrès du côté de l'instabilité.

Quoi qu'il en soit, il y a évidemment avantage à laisser les solutions d'acide oxalique acquérir cette sensibilité avant de s'en servir; cela est d'autant plus facile que ces liqueurs peuvent se sensibiliser lorsqu'elles sont concentrées, et conserver cette sensibilité lorsqu'on les dilue. D'ordinaire, je préparais un ou deux litres d'une solution normale à 63 grammes d'acide oxalique cristallisé par litre, que je diluais par fractions, au vingtième. La provision d'une solution de sensibilité constante est ainsi assurée pour longtemps. Dans toutes les expériences comparatives dont il sera question dans ces études, j'ai toujours eu soin d'opérer sur des liqueurs identiques et ayant même sensibilité.

Nous voilà maintenant en possession de notre procédé opératoire qui est celui-ci : exposer au soleil, pendant la journée, une cuvette plate, renfermant un volume déterminé d'une solution sensibilisée d'acide oxalique, et mesurer à la fin du jour, par un titrage à l'eau de chaux, la quantité d'acide oxalique disparu par oxydation.

MESURES ACTINOMÉTRIQUES

J'ai fait, depuis 1885, plusieurs séries de ces mesures actinométriques, surtout pendant la belle saison, aux vacances, aux époques où j'étais assez maître de mon temps pour leur assurer la régularité qu'elles exigent. Toutes ces séries, faites à de grands intervalles et dans des lieux différents, ne sont pas absolument comparables, les liqueurs d'épreuves ayant pu subir, d'une année à l'autre, de petites variations. Ces variations sont nulles, cependant, dans une même année, ainsi que j'ai pu le constater à diverses reprises, car toutes les fois que je changeais de liqueur d'épreuve, j'exposais simultanément deux ou plusieurs cuvettes de l'ancienne et de la nouvelle, et j'ai toujours vu que

la combustion solaire était la même pour toutes, au degré d'approximation que comportent ces mesures.

Quand on opère avec deux ou plusieurs cuvettes contenant un même liquide en quantités égales, il n'arrive pas toujours qu'on trouve pour toutes exactement la même variation de titre, à la fin de la période d'exposition. Il y a dans ces mesures des irrégularités dont nous nous expliquerons bientôt quelques-unes, et dont les autres échappent à toute explication par leur soudaineté et leurs bizarreries. Il est certain qu'il y a là des influences dont l'effet est parfois hors de proportion apparente avec la cause, et qui sont fortuites, c'est-à-dire qu'elles apparaissent tout à fait inopinément sur certaines cuvettes et non pas sur d'autres. Si elles étaient fréquentes, elle rendraient toute mesure incertaine et illusoire. Heureusement elles sont rares, et on peut toujours en éliminer l'influence en faisant chaque jour l'essai actinométrique sur 3 ou 4 cuvettes, et en ne gardant dans les chiffres trouvés que ceux qui sont concordants : on réduit ainsi assez la part du hasard pour la rendre négligeable.

C'est ainsi qu'ont été faites les observations qui vont suivre. Les temps d'exposition ont été généralement les mêmes, de 8 heures matin à 4 heures soir. Pour chacune d'elles on a noté la proportion d'acide oxalique brûlé. On a, en outre, noté en gros l'état du ciel et les principaux incidents de la période d'insolation. Une attention particulière a été apportée, à l'origine, à la constatation des lueurs solaires et antisolaires, qu'on a notées avec les abréviations S. et A. S. dans les tableaux suivants. Ces lueurs étaient très fréquentes dans les deux premières années où ont été faites ces observations, et n'ont jamais été absentes depuis. J'ai décrit, dans une note insérée en 1885 dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, l'aspect qu'elles prenaient dans le pays où j'ai commencé ces études. Plus je les étudie, plus je les considère comme dues à l'existence de la vapeur d'eau à de très grandes hauteurs dans l'atmosphère. S'il en est ainsi, elles ne doivent avoir qu'une faible influence sur les phénomènes de combustion solaire, tandis qu'il pourrait en être autrement, si elles étaient dues, comme on le pense communément, à un nuage de matières très ténues, flottant dans l'atmosphère.

Les tableaux qui suivent vont nous montrer les variations considérables que subit, non seulement d'une année à l'autre,

mais d'un jour à l'autre, la radiation chimique du soleil, traduite par la quantité d'acide oxalique qu'elle fait disparaître par combustion. Cette combustion, presque nulle pendant les jours sombres et pluvieux, atteint, en général, son maximum pendant les jours clairs et lumineux, mais s'y montre très inégale. Il y a des jours très clairs où la combustion est faible, d'autres où elle est active et qui ne se différencient nullement, à l'œil, des premiers. Par un ciel pommelé ou avec des cumulus légers, la combustion solaire peut être plus active qu'avec un ciel bleu ou légèrement voilé de cirrus. En un mot, la beauté apparente d'une journée n'est nullement en relation avec son activité chimique et sa puissance hygiénique.

C'est là une notion qui n'étonnera pas beaucoup les photographes, surtout ceux qui font du paysage et qui savent que des journées également chaudes et lumineuses ne donnent pas les mêmes résultats pour les mêmes temps de pose, et qu'il y en a pendant lesquelles, sans que rien en avertisse, l'impression chimique est beaucoup plus lente que dans d'autres. Il m'est arrivé, à deux reprises, dans un jour où l'acide oxalique indiquait une action chimique faible, de manquer des photographies par insuffisance de pose, trompé que j'étais par l'éclat apparent de la journée où j'opérais.

EXPÉRIENCES DE 1885

Observations faites à Fau (Cantal). Altitude 630^m. Pays de prairies et terrain volcanique. S. et A. S. signifient leurs solaires au couchant et leurs antisolaires.

| Dates | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|----------|----------------------------|---|
| 15 août. | 21 | Beau. Légers cirrus. |
| 16 — | 29 | Beau. |
| 17 — | 34 | — |
| 18 — | 32 | — |
| 19 — | 32 | Vent d'E. Ciel pur. |
| 20 — | 30 | — |
| 21 — | 24 | Cirro-cumulus. Temps frais. |
| 22 — | 24 | Ciel voilé le matin. |
| 23 — | 22 | — Cumulus. |
| 24 — | 27 | Ciel pommelé. |
| 25 — | 25 | Temps orageux. Pluie le soir. |
| 26 — | 30 | — Cumulus. |
| 27 — | 26 | — — |
| 2 sept. | 32 | Pluie la veille. Temps clair. S. faibles. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|---------|----------------------------|--|
| 3 sept. | 0 | Journée pluvieuse et orageuse. Pas de soleil. |
| 4 — | 7 | Quelques échappées de soleil. Le bar. remonte. |
| 5 — | 13 | Journée mi-partie soleil et pluie. |
| 6 — | 7 | Pluie le matin, un peu de soleil le soir. |
| 7 — | 7 | Comme hier. |
| 8 — | 28 | Journée en apparence semblable aux deux précédentes. |
| 9 — | 7 | Bruine et pluie le matin, soleil le soir. S. et A. S. pendant plus d'une heure. |
| 10 — | 33 | Très belle journée, S. et A. S. |
| 11 — | 28 | Pluvieux le matin, éclaircies le soir. S. et A. S. très vives. |
| 12 — | 36 | Belle journée, couronnes autour de la lune. S. et A. S. |
| 13 — | 22 | Très belle journée. Quelques cirrus. Le soir, au coucher du soleil, quelques nuages au couchant jettent leur ombre au levant sur la leur antisolaire. Il y a aussi, au voisinage de ces lueurs, des nuages dont la couleur rouge violacé est exactement la même, à la dilution près, que celle de la leur antisolaire. Couronne irrégulière autour de la lune, frangée et allongée dans certaines directions par des bandes de cirrus. |
| 14 — | 21 | Journée très belle et très chaude. S. et A. S. très belles. |
| 15 — | 27 | Journée très belle. S. et A. S. faibles. |
| 16 — | 33 | Très belle journée. Légers cirrus. Pas de S. et d'A. S. |
| 17 — | 21 | — Cirrus et cirro-cumulus. Le soir, orage. |
| 18 — | 17 | Assez beau le matin. Couvert le soir. Pluie et orage à six heures. |
| 19 — | 17 | Journée mi-partie nuages et soleil. |
| 20 — | 34 | Belle journée. S. et A. S. |
| 21 — | 29 | Belle journée, cirrus et cirro-cumulus. S. et A. S. |
| 22 — | 33 | Belle journée sans nuages. S. et A. S. belles, mais peu durables, comme la veille. |
| 23 — | 32 | Comme la veille. |
| 24 — | 29 | Cirrus nombreux. Le soir, cumulus et orage. Bar. en baisse. |
| 25 — | 1 | Journée sombre et froide. Halo lunaire. |
| 26 — | 13 | Journée médiocre; quelques échappées de soleil. |
| 27 — | 0 | Temps pluvieux le matin, sombre et froid toute la journée. |
| 28 — | 4 | Rares échappées de soleil. |
| 29 — | 3 | Brouillard et pluie toute la journée. |
| 30 — | 2 | Pluie le matin, le soir bruine. Pas de soleil. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|----------------------|----------------------------|--|
| 1 ^{er} oct. | 3 | Pluie le matin. Très peu de soleil le soir. S. et A. S. Brouillard <i>violet</i> dans la vallée. |
| 2 — | 12 | Assez belle journée. Le soir, lueurs violacées très sensibles au voisinage de <i>Vénus</i> , dont l'éclat est très vif. |
| 3 — | 20 | Ciel voilé toute la journée. |
| 4 — | 11 | Beau le matin, le soir sombre. |
| 5 — | 24 | Belle journée. Très rares nuages. S. et A. S. |
| 6 — | 12 | Journée brumeuse. |
| 7 — | 1 | Pluie tout le jour. |
| 8 — | 24 | Belle journée d'automne. Soleil un peu embrumé. |
| 9 — | 13 | Pluie le matin, soleil le soir. |
| 10 — | 6 | Pluie tout le jour. Très rares échappées de soleil. |
| 11 — | 13 | Pluie le matin, un peu de soleil le soir. |
| 12 — | 12 | Temps couvert, soleil rare. |
| 13 — | 7 | Ciel couvert, temps froid, vent du N. Gelée la nuit. |
| 14 — | 22 | Beau le matin, couvert le soir. |
| 15 — | 4 | Journée sombre et pluvieuse. |
| 16 — | 13 | Pluvieux le matin; le soir quelques trouées dans les nuages. |
| 17 — | 19 | Très belle journée d'un bout à l'autre. |
| 18 — | 18 | Très belle journée. Le soir, cirrus et halo de 22°. Bar. en baisse. |
| 19 — | 18 | Sombre le matin, un peu de soleil le soir. Après trois heures, pluie continue. |
| 20 — | 5 | Journée pluvieuse, pas de soleil. |
| 21 — | 9 | Vilaine journée, temps sombre. |
| 22 — | 4 | Comme la veille. |
| 23 — | 24 | Assez belle journée, malgré un vent d'E. qui devient très fort à neuf heures. |
| 24 — | 3 | Journée pluvieuse d'un bout à l'autre. |
| 25 — | 14 | Mi-partie soleil et pluie. Deux courants aériens : l'un du S., supérieur, emportant des cirrus; l'autre, du N., inférieur, avec nuages en flocons. Ce dernier finit par dominer, et, après avoir donné des pluies intermittentes et légères, amène une nuit fraîche. |
| 26 — | 2 | Journée pluvieuse. |
| 27 — | 15 | Bourrasque la nuit. Journée assez belle. |
| 28 — | 3 | Journée pluvieuse. |
| 29 — | 5 | Journée pluvieuse, rares éclaircies. |

Ces deux mois d'observation prouvent déjà que la combustion solaire passe par des valeurs très différentes à 24 heures de distance. Faible ou nulle avec la pluie, elle s'élève notablement pendant les belles journées de soleil. Mais elle paraît subir d'autres

influences que celles que nous traduisons par les mots de *belle journée, beau temps, etc.*

Si, d'une part, nous voyons, en effet, les journées du 20 au 24 août, très semblables de physionomie extérieure, se ressembler aussi beaucoup au point de vue actinométrique, nous avons, d'un autre côté, les exemples des 17, 18 et 19 septembre où le degré de combustion est à peu près resté le même et où, pourtant, le temps a été très beau pendant les deux premières journées, et très médiocre pendant la dernière. Un exemple inverse nous est fourni par les 6, 7 et 8 septembre, qui ont différé beaucoup au point de vue actinométrique, tout en se ressemblant beaucoup extérieurement.

Il serait intéressant de découvrir sous quelles influences se produisent ces variations. En attendant que nous y arrivions, remarquons que la combustion des plus belles journées d'octobre n'atteint pas celle des plus belles journées de septembre ni d'août. On pourrait croire que c'est parce que la durée du jour est plus courte en octobre, mais la durée d'exposition au soleil a toujours été la même, de 8 h. 30 minutes du matin à 4 h. 30 minutes du soir. Il y a donc, il semble, une influence de la saison qu'il faudra essayer de rapporter à sa véritable origine. Continuons, pour le moment, à recueillir des documents pour cette étude.

EXPÉRIENCES DE 1886

Même station de Fau (Cantal).

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|-----------------------|----------------------------|---|
| 31 mai. | 31 | Belle journée. Rares cumulus. Vent d'E. après journées pluvieuses. |
| 1 ^{er} juin. | 48 | Cirrus, ciel voilé, temps assez chaud le matin. Bar. en hausse. |
| 2 — | 42 | Jour blanc, vapeurs avec rares éclaircies. Courant du S. dans les hautes régions. |
| 3 — | 48 | Assez belle journée. Cirrus légers. Bar. stationnaire. |
| 4 — | 2 | Sombre le matin. Pluie à midi, le soir éclaircies et averses. |
| 5 — | 4 | Sombre le matin. Le soir un peu meilleur qu'hier. |
| 6 — | 11 | Soleil voilé le matin; éclaircies le soir. |
| 7 — | 3 | Journée sombre, pluvieuse, froide, presque sans soleil. |
| 8 — | 6 | Comme hier; une heure de soleil en tout. |
| 9 — | 4 | Journée froide, pluvieuse, sans soleil. Bar. en légère hausse. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|------------------------|----------------------------|---|
| 10 juin | 1 | Pluie tout le jour. |
| 11 — | 8 | Quelques éclaircies. Bar. en hausse. |
| 12 — | 2 | Pas de soleil. Pluie, brumes, un peu de tonnerre vers 3 heures. |
| 13 — | 10 | Averses abondantes, mais courtes. Ciel couvert, rares éclaircies. |
| 14 — | 11 | Soleil intermittent. Cumulus emportés par un vent de N. W. |
| 15 — | | Journée sombre. Bruine et pluie le soir. |
| 16 — | 30 | Belle journée; air sec; vent du N. Nuages blancs. |
| 17 — | 32 | Comme hier. |
| 18 — | 17 | Journée assez sombre; temps un peu orageux. |
| 19 — | 11 | Matinée sombre; soirée avec un peu de soleil. Vent du N. |
| 20 — | 11 | Pluie le matin. Le soir, soleil et orage. |
| 21 — | 17 | Journée sombre. Soleil rare. |
| 22 — | 12 | — |
| 23 — | 6 | Sombre, pluvieux, presque pas de soleil. |
| 24 — | 23 | Belle journée, surtout le soir; cirrus le matin, cumulus le soir. |
| 25 — | 42 | Très belle journée. Rares cirrus le matin. Le soir, bandes de cirrus orientées E. O. |
| 26 — | 3 | Journée sombre et pluvieuse. Très rares éclaircies. |
| 27 — | 25 | Assez belle journée. Cirrus et cirrocumulus. |
| 28 — | 23 | Comme hier. Temps plus couvert et très chaud. |
| 29 — | 38 | Matinée assez belle; soirée un peu orageuse. |
| 30 — | 41 | Belle journée. Lueurs S. faibles. |
| 1 ^{er} juill. | 31 | Très belle journée. Belles lueurs A. S. |
| 2 — | 19 | Beau le matin, orageux le soir. |
| 3 — | 13 | Beau le matin. Le soir très couvert et orage. |
| 4 — | 25 | Très belle journée. Très rares nuages. S. et A. S. |
| 5 — | 25 | Très belle journée; brume de beau temps. S. et A. S. |
| 6 — | 31 | Très belle journée, presque pas de brume. S. et A. S. |
| 7 — | 14 | Un peu brumeux. Menaces d'orage. Le soir, roulement continu de tonnerre pendant un quart d'heure, dans une couche de nuages très mince venant du N. W., et glissant entre une couche inférieure immobile et une couche supérieure venant du S. W. et emportant des cumulus. La nuit, orage. |
| 8 — | 5 | Pluie le matin, soirée médiocre. |
| 9 — | 13 | Sombre le matin. Soleil le soir. |
| 10 — | 18 | Un peu couvert vers midi. Le reste beau. |
| 11 — | 39 | Belle journée; rares cumulus. S. et A. S. |
| 12 — | 43 | Belle journée, temps calme. Belles lueurs A. S. |
| 13 — | 21 | Ciel un peu brouillé, menace d'orage. |

Dans cette série, les mesures actinométriques sont mieux d'accord avec l'aspect extérieur du temps. Mais il y a encore des discordances. On voit aussi que les cirrus et cirro-cumulus, et même les cumulus n'empêchent parfois pas la combustion d'être active. Enfin, on n'observe encore aucune dépendance entre l'action chimique et la présence des lueurs solaires et antisolaires. Si elles accompagnent parfois une combustion active, c'est qu'elles n'apparaissent que pendant le beau temps. Mais on en observe aussi bien pendant les journées à combustion très forte que pendant les journées moyennes.

Cette même année, j'avais fait à Paris d'autres observations dont j'ai perdu le détail, mais qui, dans leur ensemble, m'avaient fourni des nombres plus faibles, dans les belles journées, que ceux que j'ai relatés jusqu'ici. La combustion solaire m'apparaissait donc moins intense à Paris qu'à la campagne, et j'étais confirmé dans cette idée par une autre longue série d'expériences dans lesquelles j'étudiais l'action de la lumière solaire sur diverses substances organiques¹, plus résistantes que l'acide oxalique, et que j'étais obligé d'exposer au soleil pendant des semaines et des mois, avant que leur combustion fût terminée. Elles totalisaient ainsi les influences subies pendant la durée de l'exposition. Or, le temps nécessaire était toujours plus grand à Paris qu'à la campagne.

Parmi les faits de cet ordre, je ne puis citer que celui-ci, parce que je me trouve l'avoir consigné, par hasard, dans un travail qui ne visait pas cette question. Une solution décime d'acide tartrique, exposée de 10 heures à 2 heures, chaque jour, au soleil de Paris, n'avait perdu par combustion, en 7 mois et demi, que 10 0/0 de son acide, tandis que, dans le Cantal, une solution identique en avait perdu 47 0/0 au bout de 2 mois. La durée d'exposition journalière avait été, il est vrai, plus longue dans le Cantal, et de plus, comme nous le verrons, la quantité d'action produite augmente plus vite que la durée d'exposition. Mais cela ne suffit pas à combler la différence. Dans une autre expérience, pour une combustion de glucose en liqueur alcaline, j'ai vu durer 2 ans à Paris ce qui n'avait demandé que 3 mois dans le Cantal.

1. *Annales de l'Institut agronomique*, t. X, 1886.

La première explication qui s'offrait à l'esprit est une influence d'altitude. A Paris, on est presque au niveau de la mer. Dans le Cantal j'étais à 650 mètres. Je me suis installé en 1887 à 1,000 mètres environ, à Orcines, sur le plateau volcanique qui porte le Puy de Dôme. La maison que j'habitais, et où j'ai fait quelques observations malheureusement très contrariées par le temps, était séparée du sommet du Puy de Dôme par une distance d'environ 4 kilomètres comptée sur la carte, sans tenir compte de la différence d'altitude qui était d'environ 400 mètres. J'ai profité de ce voisinage pour faire, avec le concours de M. Plumandon, directeur de l'observatoire, deux séries d'expériences comparatives destinées à me renseigner sur l'influence propre de l'altitude. Je commence par donner les résultats recueillis à la station d'Orcines.

EXPÉRIENCES DE 1887

*Station d'Orcines, au pied du Puy de Dôme, altitude 1,050 mètres environ.
Pays de bruyères, très peu arrosé et très peu fertile.*

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|---------------|----------------------------|---|
| 9 août. | 44 | Ciel couvert de 12 à 2 h. Journée très chaude. S. et A. S. |
| 10 — | 55 | Journée très belle. Vapeurs blanches à l'horizon. |
| 11 — | 66 | Vent du N. W. un peu froid. Journée très belle, |
| 12 — | 49 | Même vent, plus faible, ciel bleu. Baromètre bas. |
| 15 — | 25 | Cirrus le matin. Temps demi-couvert. |
| 23 — | 47 | Journée très belle après une série de gros temps. |
| 24 — | 25 | Cirrus à l'W.; ciel voilé. Vent d'W. et du S. |
| 25 — | 20 | Temps orageux, cirro-cumulus, puis cumulus. Orage du S. W. à 2 ^h ,30. |
| 26 — | 23 | Cirro-stratus le matin. Cumulus à l'horizon. |
| 11 septembre. | 16 | Beau temps jusqu'à 2 heures. |
| 12 — | 10 | Cirrus, cirro-stratus, puis cumulus. Couvert, rares éclaircies. |
| 15 — | 8 | Mauvais temps depuis le 12. Un peu de vent; quelques éclaircies. |
| 16 — | 13 | Temps un peu plus beau, ciel couvert par intervalles. |
| 17 — | 8 | Assez beau, mais ciel couvert. |
| 18 — | 8 | — |
| 19 — | 6 | Journée médiocre. |
| 22 — | 40 | Très belle journée dès le matin. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|---------|----------------------------|--|
| 23 août | 7 | Un peu de brume le matin. Soirée très belle. |
| 24 — | 15 | Très belle journée. |
| 25 — | 29 | Très belle journée. |
| 26 — | 24 | Un peu brumeux le matin. Le soir beau. |

Les belles journées d'août dépassent notablement les belles journées de septembre, et en moyenne ces nombres sont supérieurs à ceux que j'avais trouvés les années précédentes dans le Cantal. Mais on ne saurait tirer de cette comparaison aucune conclusion relative à l'influence de l'altitude. Il faut pour cela des observations simultanées. L'année a été trop mauvaise pour que j'aie pu les organiser avec quelque suite à Orcines et au sommet du Puy de Dôme. J'ai pourtant pu faire 7 jours d'observations comparatives, avec la même liqueur exposée pendant le même temps dans les mêmes conditions. Voici les résultats aux 2 stations :

| | Station du Puy de Dôme. | Station d'Orcines. |
|---------------|-------------------------|--------------------|
| 15 septembre. | 7 | 8 |
| 16 — | 8 | 8 |
| 22 — | 45 | 40 |
| 23 — | 13 | 7 |
| 24 — | 19 | 5 |
| 25 — | 30 | 29 |
| 26 — | 45 | 24 |

Les combustions au sommet du piton de la montagne marchent à peu près du même pas que sur le plateau au voisinage : elles sont un peu supérieures en moyenne, mais sans parallélisme, et sans que l'effet de l'altitude soit très accusé. L'augmentation d'action le 26 tient sans doute à ce que le plateau était le matin couvert d'un peu de brume au milieu de laquelle émergeait le sommet de la montagne. Il en a été de même le 23. Si on fait abstraction de ces 2 jours, l'influence de l'altitude paraît médiocre ou nulle, et il demeure évident que ce n'est pas à des actions de cet ordre que nous devons demander l'explication de la différence des résultats observés à Paris et dans le Cantal.

Je me suis alors demandé s'il n'y avait pas une influence de la transparence ou de l'opacité de l'air, et, par transparence, j'entends non pas seulement la transparence pour la lumière, mais aussi et surtout la transparence pour les rayons chimiques. Ne pourrait-il pas se faire que la radiation solaire s'appauvrisse

quand elle rencontre sur son passage des substances qui absorbent les rayons chimiques, ou qui s'oxydent en les éteignant? C'est là une question qui se pose tout naturellement, et qu'on peut résoudre sans peine par des expériences comparatives faites le même jour dans un même lieu. Exposons par exemple au soleil deux cuvettes pareilles, l'une flottant sur l'eau, l'autre à la surface d'un bain d'essence de térébenthine placé au fond d'un large cristalliseur; on trouve toujours que la combustion est notablement moins avancée dans la seconde que dans la première.

Ces expériences ont été faites à Paris, en 1888, et perdues. Mais M. Elfving, professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande), à qui j'en avais écrit le résultat, en a recommencé une sur l'essence de térébenthine, et je la cite d'après une de ses lettres.

« J'ai répété et confirmé vos expériences. Le 30 août 1888, de 8 à 4 heures, par un ciel clair, il y eut 53 0/0 de l'acide brûlé au-dessus de l'eau, et 39 0/0 au-dessus d'un bain d'essence de térébenthine. Le lendemain, où le jour est resté clair de 9 heures jusqu'à midi, les chiffres ont été de 47 et 23 0/0 pour la même durée d'exposition. Il est donc bien sûr que la présence dans l'air de substances oxydables diminue sensiblement l'action comburante au niveau du sol. »

M. Elfving a appuyé cette conclusion de l'expérience suivante que j'ai à mon tour répétée et confirmée : elle consiste à tamiser les rayons solaires au travers d'une solution de sulfate de quinine, qui absorbe en partie les rayons chimiques, avant de la faire agir sur la liqueur oxalique. Un autre tamis, formé d'eau, donne un terme de comparaison. On pourrait à la rigueur se passer de ce dernier, car la quantité de vapeur d'eau ou d'eau liquide ou solide qu'ont traversée les rayons avant d'arriver au sol dépasse l'épaisseur de l'écran liquide qu'on emploie d'ordinaire, et l'absorption par l'eau est du reste très faible. Dans mes essais, j'avais supprimé cette complication. M. Elfving se servait de deux cloches de verre à double paroi, contenant l'une de l'eau, l'autre une solution de sulfate de quinine.

Il m'écrivait le 17 juin : « La lumière qui a traversé une couche d'eau est cinq fois plus active que celle qui a passé au travers d'une solution de sulfate de quinine de même épaisseur. Je continuerai les observations au temps du solstice... » et, le 9 juillet, « j'ai fait encore une expérience avec le sulfate

de quinine. Le 27 juin, tandis qu'il fut brûlé en plein air pendant toute la journée 87 0/0 de l'acide oxalique total, et sous une cloche de verre remplie d'eau 78 0/0, la décomposition ne fut que de 10 0/0 sous une cloche identique remplie de solution de quinine. »

Voilà donc, en résumé, une cause de variation trouvée pour le degré actinométrique. Toutes les huiles essentielles, les odeurs que la végétation répand dans l'air sont une cause d'affaiblissement dans la puissance actinique des radiations qui arrivent à la surface du sol. Comme les rayons chimiques ont un rôle incontestable dans la végétation d'après les expériences de MM. Bonnier et Mangin, la production de ces effluves odorants et oxydables est peut-être pour la plante un moyen de protection. On a le droit de supposer, *a priori*, qu'il doit en être de même pour les matières grasses, très oxydables aussi, et constamment présentes dans l'air. Seulement, pour vérifier cette conclusion par l'expérience, il faut se rappeler que l'oxydation solaire de la matière grasse s'accompagne d'une production d'acide qui élève le titre de la solution oxalique en même temps que la combustion solaire le diminue. Il faut donc, ou mettre très peu de matière grasse, de façon à ce qu'elle forme seulement au-dessus du liquide un voile imperceptible, soit, ce qui vaut mieux, la répandre en voile transparent sur une surface de verre interposée sur le trajet des rayons lumineux. Voici quelques expériences à ce sujet.

EXP. Le 24 juin 1885, j'expose au soleil pendant six heures sept cuvettes de même dimension, contenant chacune 10 c. c. d'une solution d'acide oxalique demi-décime. Deux de ces cuvettes, 1 et 2, ont leurs parois nettes. La cuvette 3 a été mouillée avec une solution de beurre dans le sulfure de carbone, qui a laissé sur les parois une couche grasseuse qui les ternit à peine. En outre, ces parois ont abandonné à la liqueur oxalique, en vertu du jeu des tensions superficielles, une couche invisible de matière grasse. Pour en distinguer l'action de celle du dépoli des parois, on amène une quatrième cuvette au même degré d'opacité que la cuvette n° 3 en la frottant extérieurement avec de la craie. Enfin, à la fois pour augmenter la quantité de matière grasse dans le liquide et pour savoir l'effet qu'y produirait un peu d'opacité, on a préparé les cuvettes 1 *bis*, 2 *bis* et 3 *bis* comme les cuvettes 1, 2 et 3, en y ajoutant seulement en plus 2 gouttes de lait, soit environ 5 milligrammes de matière grasse.

| | | |
|--------------|----------------------------------|--------|
| Cuvette n° 1 | Parois nettes..... | 33 0/0 |
| — 2 | Parois nettes..... | 32 0/0 |
| — | Parois mates, surface grasseuse. | 29 0/0 |

| | | |
|--------------|--|--------|
| Cuvette n° 4 | Parois mates par la craie..... | 32 0/0 |
| — | 1 bis, comme 1 + 2 gouttes de lait.... | 46 0/0 |
| — | 2 bis — 2 + — | 47 0/0 |
| — | 3 bis — 3 + — | 47 0/0 |

D'autres expériences, dont les détails sont perdus, confirment ces résultats, et la matière grasse contenue dans le liquide ou répandue en couche invisible à sa surface, de même que celle qui couvre la paroi d'une cloche recouvrant la cuvette à acide oxalique, diminue, quoique dans une proportion plus faible que les huiles essentielles, l'effet actinique des rayons solaires.

Enfin, il en est de même de beaucoup de substances, plus ou moins facilement oxydables, qui exercent aussi un effet protecteur, ou retardateur, contre les radiations chimiques. Tel est par exemple l'alcool.

EXP. Le 26 juin 1885, 2 cuvettes avec 10 c. c. de solution d'acide oxalique à 1/15 d'équivalent me donne une combustion de 33 0/0, la même pour les deux. Deux autres cuvettes identiques, additionnées de 2,5 c. c. d'alcool à 95° ne me donnent qu'une combustion de 24 0/0.

Le 14 septembre 1888, deux cuvettes avec une solution à 1/20 d'équivalent d'acide oxalique me donnent deux combustions identiques, s'élevant à 40 0/0. Elles sont seulement de 4 0/0 dans deux cuvettes pareilles, additionnées de quelques gouttes d'alcoolat d'oranges, où l'huile essentielle et l'alcool ont agi à la fois.

J'ai fait de nombreux essais, dont j'ai perdu les détails, sur divers corps oxydants et oxydables. D'une manière générale les premiers activent l'action, et les seconds la retardent. Il y a aussi des phénomènes d'entraînement que je ne peux étudier ici, d'abord parce que ce n'est pas mon objet, puis parce que je dois auparavant refaire une expérience dont les détails sont perdus. Je me contente de tirer de l'ensemble de mes résultats la conclusion que voici : c'est que la nature et la proportion des éléments oxydables présents dans l'air se traduisent dans la combustion solaire de l'acide oxalique, qui est d'autant plus faible à la surface du sol que les radiations ont trouvé sur leur passage plus d'éléments instables à oxyder. Les matières organiques de l'atmosphère sont donc une protection contre une action trop intense des rayons chimiques, et l'effet qu'elles produisent est non seulement mesurable, mais encore parfois très puissant. En d'autres termes, nous ne savons pas quelle est la puissance chimique de la lumière solaire à son entrée dans l'atmosphère,

mais, en arrivant à la surface du sol, elle est si appauvrie qu'une petite couche de vapeur d'essence de térébenthine, de sulfate de quinine ou de substances sensibles suffit à la dépouiller presque complètement. C'est une conclusion à laquelle nous étions arrivé au début, et que les résultats présents confirment.

Cette conclusion a une contre-partie, c'est que l'atmosphère doit à chaque instant être le siège de combustions, de sorte que l'action d'assainissement qui ne se fait pas au niveau du sol doit se produire dans l'air, tant sur les matières organiques en vapeurs que sur les microbes en suspension. Ici nous retrouvons cette action hygiénique sur laquelle j'insistais tout à l'heure et dont nous commençons à connaître le mécanisme.

EXPÉRIENCES DE 1888.

Cette première question de l'influence possible des matières en suspension dans l'atmosphère se trouvant suffisamment ébauchée par les constatations qui précèdent, je me trouvais conduit à me poser la question suivante.

C'est un fait connu que l'activité des procès végétatifs dans les régions du nord de l'Europe. Il faut, pour le blé de printemps, 145 jours en moyenne en Alsace entre la semaille et la récolte : il n'en faut plus, d'après M. Tisserand, que 133 à Halsnö, par 59°30 de latitude, et que 114 à Skibotten, par 69°30 de latitude. La température moyenne de la période de végétation est pourtant plus basse à mesure qu'on se rapproche du pôle.

Cette diminution du nombre de jours de végétation à mesure que la latitude augmente semble une loi générale. D'après M. Arnell, l'orge met 117 jours à pousser dans la Suède méridionale, 92 dans la Suède moyenne, 89 en Laponie. Il est vrai qu'une partie de ces différences tient à une accommodation de la plante, car, semé chez nous, le blé de Norvège y pousse plus vite que le nôtre, tandis que le nôtre est en retard en Norvège sur le blé acclimaté. Mais il y a aussi une influence du climat, et même, d'après M. Grisebach, l'accélération constatée dans la végétation des plantes cultivées dans l'extrême Nord ne porte que sur la période comprise entre la germination et la floraison. Elle ne s'applique donc qu'aux organes verts, et, dès lors, met en jeu une question de lumière qui, d'après le résultat obtenu,

semble prépondérante sur la question de la température. En somme, avec ce que nous savons, l'influence actinique des rayons solaires semble augmenter avec la latitude.

A quoi est due cette augmentation? Et d'abord se manifeste-t-elle sur nos solutions d'acide oxalique? Tel était le premier point à examiner. C'est pour cela que j'ai sollicité le concours de M. Elfving, dont j'ai cité plus haut une intéressante expérience. Je lui ai envoyé à Helsingfors une liqueur oxalique et des cuvettes pareilles à celles dont je me servais, de façon à assurer l'identité des conditions expérimentales dont nous pouvions disposer à notre gré. Malheureusement il y en avait d'autres tout à fait hors de notre portée. L'idéal eût été de trouver une série de jours également beaux en France et en Finlande. Mais il y a, comme on sait¹, des raisons pour que ces coïncidences ne soient pas fréquentes, et il aurait fallu, pour les rencontrer, plusieurs mois d'observations continues que ni M. Elfving ni moi ne pouvions entreprendre. Le mot *beau jour* implique d'ailleurs, comme nous l'avons vu plus haut, de telles incertitudes dans sa définition actinométrique, que l'on pouvait se contenter à moins de frais dans une première approximation. Il suffisait de comparer la combustion actinométrique des plus belles journées au fond du golfe de Bothnie à celles de France à la même époque de l'année.

Ce n'est pas tout. La durée du jour est plus longue dans le Nord que dans le Sud pendant la période de végétation, et la durée de l'insolation a, nous le savons, une grande influence sur la qualité de la combustion. Aussi avais-je demandé à M. Elfving de faire par jour 2 séries d'expériences, une avec des cuvettes laissées à la lumière de 8 heures du matin à 4 heures du soir, comme celles sur lesquelles j'opérais en France, l'autre sur des cuvettes laissées exposées toute la journée, du lever au coucher du soleil.

M. Elfving a fait à Helsingfors, du 27 août au 4 septembre 1887, 5 expériences que je ne peux comparer avec celles que je faisais à ce même moment au pied du Puy de Dôme, parce que le mauvais temps avait interrompu les miennes. Mais je puis les comparer avec celles que j'avais demandé à un jeune élève de l'Ecole polytechnique de faire au même moment au bord de la

1. Voir à ce sujet ma *Météorologie*. Paris, Hermann, 1891.

mer, sur les côtes de la Manche. Elles se trouvent plus comparables à celles de M. Elfving, ayant été faites aussi dans une station maritime. Tout ce qu'on peut noter, au sujet de ces nombres relevés au bord de la mer, en Normandie, c'est qu'ils étaient en moyenne du même ordre que ceux que j'obtenais au même moment sur le plateau que porte le Puy de Dôme.

Voici d'abord les observations recueillies en France sur les côtes de la Manche de 8 heures du matin à 5 heures du soir :

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|----------|----------------------------|---|
| 15 août. | 44 | Temps clair jusqu'à 4h,30. Plus tard voilé. |
| 16 — | 38 | Pluie jusqu'à 2 heures, puis couvert. |
| 17 — | 31 | Très clair de 11 heures à 3 heures, puis voilé. |
| 18 — | 23 | Aux 3/4 couvert jusqu'à 10 heures, clair de 10 heures à 3 heures. |
| 19 — | 33 | Demi-couvert le matin. Puis assez clair. Légère brume. |
| 20 — | 21 | Demi-couvert toute la journée. |
| 21 — | 28 | Légèrement couvert le matin, puis clair. |
| 22 — | 30 | — — — |
| 23 — | 36 | Beau temps. |
| 24 — | 39 | — — — |
| 25 — | 42 | Chaud, très lourd, temps clair. |
| 26 — | 32 | Couvert le matin, clair de 12 à 3 heures. Couvert le soir. |
| 27 — | 23 | Couvert, pluie de 10 heures à 11 heures. |
| 29 — | 24 | Pluie incessante. |

On voit que la combustion solaire augmente avec le beau temps, diminue par les ciels couverts ou la pluie. Cette série de 1887 est tout à fait comparable à la série trouvée en 1885 dans le Cantal, à 700 mètres d'altitude, et cela confirme ce que nous avons dit plus haut sur la faible influence de l'altitude, en tant qu'altitude; c'est que ce n'est pas l'air qui a la puissance absorbante la plus notable, mais bien les substances qui y sont contenues.

Voici maintenant les 5 expériences de M. Elfving faites en 1887.

Helsingfors. — Latitude 60° 10'. — Durée du jour 14 heures. Hauteur du soleil au-dessus de l'horizon à midi, 30° environ.

| Dates. | Combustion solaire 0/0 | |
|----------|-------------------------|-------------------|
| | De 8 h. m. à 4 h. soir. | Toute la journée. |
| 27 août. | 42 | 55 |
| 28 — | 50 | 63 |
| 29 — | 53 | 64 |
| 2 sept. | 74 | 87 |
| 4 — | 77 | 89 |

« La différence entre les 3 premiers jours et les 2 autres est assez grande, elle tient sans doute à ce que l'atmosphère avait été purifiée par de fortes pluies les 30 août et 1^{er} et 3 septembre. Déjà, en mars, j'avais observé cet effet des pluies. » (M. Elfving.)

Les chiffres de la première colonne sont en moyenne supérieurs aux chiffres correspondants et comparables du tableau qui précède, et cette supériorité doit d'autant plus frapper que, par suite d'une erreur dans les conventions, l'exposition a duré, en France, une heure de plus qu'en Finlande. Il faudrait donc augmenter ces derniers, pour les rendre comparables aux autres, d'une certaine quantité. Mais ces expériences ne sont pas assez nombreuses et, d'un commun accord, on les a recommencées en 1888.

Voici celles que j'ai faites à Paris, dans le jardin de l'Institut agronomique, dans les mois de mai et juin 1888. Mes obligations fonctionnelles m'ont astreint à ne les terminer qu'à 5 heures du soir et m'ont empêché de les faire en série continue. Je supprime 3 observations faites pendant un vent violent qui avait couvert mes cuvettes d'une couche de poussières. Exposition de 8 heures du matin à 5 heures du soir.

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|---------|-------------------------|---|
| 12 mai. | 46 | Belle journée, vent du nord frais. |
| 13 — | 29 | Très belle journée, un peu plus chaude que la précédente. |
| 14 — | 50 | Cirrus le matin. Très belle journée. |
| 15 — | 23 | Ciel couvert. Baromètre en baisse. |
| 17 — | 52 | Ciel couvert. Vent du sud, cirrus. |
| 18 — | 23 | — — — |
| 20 — | 27 | Assez belle journée. Vent du nord. Cirrus et alto-cumulus. |
| 21 — | 35 | Ciel couvert, quelques éclaircies le soir. Vent d'est, frais. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|-----------------------|----------------------------|--|
| 26 mai. | 43 | Quelques nuages le matin. Beau le soir. Vent du nord, frais. |
| 27 — | 30 | Assez belle journée, quelques cirrus. Une bourrasque approche. |
| 1 ^{er} juin. | 33 | Belle journée, sans vent. |
| 2 — | 33 | Journée chaude et orageuse. |
| 3 — | 39 | Journée très chaude. Vent du midi. |
| 5 — | 42 | Journée chaude et orageuse, temps un peu couvert. |
| 12 — | 64 | Belle journée, un peu d'air. |

La correspondance entre la combustion solaire et l'état de l'atmosphère est moins nette qu'à la campagne, ce qui n'est pas surprenant, étant donné l'hétérogénéité incessante de l'air d'une grande ville. Voici maintenant les observations de M. Elfving à Helsingfors :

| Dates. | Combustion solaire 0/0 | |
|---------|-------------------------|-------------------|
| | De 8 h. m. à 4 h. soir. | Toute la journée. |
| 19 mars | 50 | — |
| 21 — | 47 | 58 |
| 22 — | 56 | 76 |
| + 23 — | 53 | 65 |
| + 24 — | 37 | 55 |
| + 27 — | 44 | — |
| 30 — | 46 | 72 |
| 31 — | 51 | 72 |
| 4 juin | 48 | 63 |
| + 7 — | 48 | 70 |
| 8 — | — | 74 |
| 9 — | 56 | 79 |
| 10 — | 57 | 77 |
| 11 — | 54 | 80 |

Aux jours marqués d'un +, le ciel a été plus ou moins couvert à Helsingfors. Tous les chiffres de la seconde colonne devraient être un peu augmentés pour être comparables à ceux du tableau précédent. On voit qu'ils leur sont encore en moyenne supérieurs, bien qu'aucun n'atteigne le chiffre réalisé pour la journée du 12 juin à Paris, chiffre qui est à la vérité un chiffre très exceptionnel.

Voici une autre série, d'août à septembre 1888, faite simultanément en France et en Finlande. Exposition de 8 heures du matin à 5 heures du soir.

Station des bains du Mont-Dore, à 1,050 mètres d'altitude. Pâturages et bois de sapins.

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|-----------------------|----------------------------|---|
| 9 août | 26 | Cirrus le matin, augmentant le soir. |
| 10 — | 19 | Belle journée. |
| 11 — | 18 | — ciel légèrement voilé. |
| 12 — | 19 | — comme hier. |
| 13 — | 18 | Cumulo-cirrus le matin; beau l'après-midi, le ciel se couvre le soir. |
| 14 — | 27 | Belle journée. Le ciel se couvre un peu le soir; vent du sud. |
| 16 — | 27 | Très belle journée, atmos. limpide. Le soir cirrus. |
| 17 — | — | Pluie toute la journée. |
| 18 — | — | Ciel couvert et pluie. |
| 19 — | 22 | Belle journée: cumulo-cirrus et cirrus. |
| 20 — | 15 | Cirrus toute la journée, surtout le soir. Pas de baisse barométrique. |
| 31 — | 15 | Grands cumulus blancs. |
| 1 ^{er} sept. | 15 | Même temps qu'hier. |
| 2 — | 10 | Journée médiocre. |
| 3 — | 24 | Journée assez belle, cirrus nombreux. |
| 4 — | 12 | Journée médiocre. |
| 5 — | 11 | — — |
| 6 — | 12 | Journée assez belle. Quelques cumulus le matin. |
| 8 — | 11 | Journée médiocre. |
| 10 — | 11 | Journée assez belle avec quelques nuages. |
| 11 — | 7 | — — — |
| 12 — | 18 | Belle journée, soleil chaud, rares cumulus. |
| 13 — | 25 | Beau le matin, médiocre le soir. |
| 14 — | 15 | Belle journée, très chaude. |
| 15 — | 9 | Très belle journée, comme hier. |
| 16 — | 4 | Journée médiocre, chaude et lourde. |
| 17 — | 29 | Journée mi-partie nuages et soleil. |
| 18 — | » | Journée sombre. |
| 19 — | 30 | Superbe journée. |
| 20 — | 10 | Ciel beau le matin, couvert le soir. |
| 21 — | 17 | Journée un peu plus belle que la veille. |
| 22 — | 13 | Assez beau le matin, couvert le soir. |
| 26 — | 15 | Cumulus cachant environ 1/8 du ciel. |
| 27 — | 25 | Un peu plus beau que la veille. |
| 28 — | 49 | Journée un peu voilée, mais sans nuages. |

Ce qui frappe, en lisant ces chiffres, c'est qu'ils sont faibles, même ceux qui se rapportent aux belles journées. Ce sont les plus petits que j'aie relevés en moyenne en août et septembre,

bien que ce dernier mois surtout ait été assez beau. J'ai attribué ce fait à ce que la station où j'opérais est presque entièrement entourée de bois de sapins, répandant dans l'air des vapeurs de térébenthine. Mais je reconnais qu'il faudrait d'autres observations comparatives pour établir solidement ce fait important, où on trouverait peut-être l'explication des bons résultats thérapeutiques du séjour dans les bois de pins.

On retrouve aussi dans ces nombres le défaut de correspondance entre l'aspect de l'atmosphère et le degré de combustion solaire. Ainsi les belles journées du 14 et du 15 septembre ont eu une combustion totale inférieure à 10 0/0 tandis que les journées du 27 et du 28 n'ont pas été sensiblement plus belles que celle du 26, et pourtant la combustion y a été beaucoup plus forte.

Ces différences curieuses tiennent peut-être à la cause que nous invoquions plus haut. Si ce sont les vapeurs d'huiles essentielles qui arrêtent au passage le rayonnement actinique, l'effet de ce que nous appelons une belle journée sera fort variable suivant qu'elle succédera à une période de pluies qui aura lavé l'atmosphère, ou à une période de chaleur qui aura augmenté le nuage invisible de vapeurs de térébenthine ou des autres essences odorantes dans la campagne. Mais tous ces points-là ont besoin d'être visés directement pour être touchés, et ce travail préliminaire n'a pas d'autre prétention que celle d'ouvrir de nouveaux sujets d'études sur l'atmosphère.

Voici, maintenant, comme terme de comparaison, les résultats de M. Elfving à Helsingfors, pendant la même période de la même année.

| Combustion solaire 0/0 | | | |
|------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|
| Dates. | De 8 h. m. à 4 h. s. | Toute la journée. | Observations. |
| 22 août | 56 | 66 | Ciel clair. |
| 23 — | 51 | 60 | Presque clair. |
| 26 — | 35 | 45 | Nuages. |
| 27 — | 56 | 75 | Clair. |
| 28 — | 50 | 68 | A demi-couvert. |
| 29 — | 55 | 71 | Ciel très clair depuis 9 h. matin. |
| 30 — | 53 | 70 | — |
| 31 — | 39 | » | Ciel très clair de 9 h. à midi. |
| 2 sept. | 49 | 59 | Ciel très clair. |
| 3 — | 49 | 67 | — |
| 6 — | 54 | » | Presque clair. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | | Observations. |
|---------|-------------------------|-------------------|----------------------------------|
| | De 8 h. m. à 4 h. s. | Toute la journée. | |
| 8 sept. | 49 | » | Clair le matin, couvert ensuite. |
| 9 — | 52 | 62 | Ciel très clair. |
| 10 — | 56 | » | — |
| 11 — | 59 | » | — |
| 14 — | 51 | » | Ciel clair. |
| 15 — | 46 | » | — |
| 16 — | 51 | » | — |
| 17 — | 51 | » | — |
| 18 — | 42 | » | Nuages. |

La régularité est plus grande ici qu'en France, et on remarquera en particulier la ressemblance étroite au point de vue actinométrique des jours qui sont notés de même comme très semblables dans la colonne des observations (29 et 30 août, 2 et 3 septembre, 14, 15, 16 et 17 septembre). Mais, ce qu'il y a de plus frappant dans ce tableau, quand on le compare à celui qui précède, c'est que les chiffres de la combustion de 8 heures du matin à 4 heures du soir sont notablement plus élevés qu'ils ne l'étaient à ce même moment, en France de 8 heures du matin à 5 heures du soir. C'est ce que nous avons déjà constaté à deux reprises plus haut.

Il ne peut donc pas rester de doutes sur ce point : l'intensité actinique de la lumière des pays du Nord, au voisinage du sol, est plus grande que dans nos régions tempérées. Il était curieux de se demander ce qui arrive quand on s'approche de l'équateur. J'ai profité, pour commencer cette étude, de l'offre obligeante de mon ami, M. Gessard, qui, pendant son séjour à Sétif (Algérie), a bien voulu faire quelques observations avec une liqueur que je lui avais envoyée et qui avait la même sensibilité, à peu près, que celles qui ont servi aux essais précédents. Sétif est sur le flanc sud de la chaîne des Babers et des Bibans, et domine une plaine immense, en contre-bas de 2 à 300 mètres, et bornée à 35 ou 40 kilomètres par une petite chaîne de montagnes qui la sépare d'une autre plaine plus étendue, le bassin de la Hodna. Celui-ci n'est plus séparé du Sahara que par un faible relief montagneux. La plaine, au-dessous de Sétif, est donc exposée aux influences désertiques, s'échauffe beaucoup le jour, se refroidit la nuit, et l'appel produit pendant la journée vaut d'ordinaire à Sétif un vent frais du nord. Malgré cela, la chaleur y est grande, l'évaporation forte, et pour que les cuvettes ne perdent pas tout leur liquide par évaporation, il faut y mettre 20 c. c. de liqueur oxalique et les faire

nager sur l'eau d'un grand cristallisoir. Voici les nombres obtenus par cette méthode. L'exposition avait lieu de 8 heures du matin à 5 heures du soir.

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|-----------|----------------------------|--|
| 2 juillet | 12 | — |
| 3 — | 14 | — |
| 4 — | 40 | Nuages. |
| 5 — | 14 | Temps orageux, ciel couvert. |
| 6 — | 16 | Nuages plus rares que les deux jours précédents. |
| 7 — | 17 | Temps clair, sans poussière. |
| 8 — | 62 | Nuageux par instants. |
| 9 — | 18 | Bourrasques, beaucoup de poussière. Arrêté avant 5 heures. |
| 11 — | 40 | Temps couvert. |
| 12 — | 32 | Beautemps. |
| 13 — | 22 | Temps couvert; quelques gouttes de pluie. |
| 15 — | 25 | Nuages, rafales, poussières. |
| 17 — | 22 | Beau temps. Orage de grêle à 7 h. du soir. |
| 18 — | 22 | On ne voit pas la montagne du sud à 5 h. du soir. |
| 19 — | 24 | Pas de nuages, horizon très visible. |
| 20 — | 22 | Temps couvert à partir de 2 h. |
| 21 — | 23 | Temps couvert à partir de midi, ondée à 3 h. |

Ces expériences ont été reprises en août, simultanément à Sétif et dans le Cantal. Voici celles de Sétif. Les jours où il a été fait des observations correspondantes dans le Cantal, on a mis ce dernier nombre entre parenthèses.

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|---------|----------------------------|--|
| 18 août | 6 | Nuages à partir de midi. Tonnerre et pluie à 4 h. 30. |
| 19 — | 3 | Assez belle journée, rares nuages. |
| 20 — | 3 | Soleil irrégulièrement voilé. |
| 21 — | 3 | Pas de nuages. Soleil et ciel pur toute la journée. Vent du nord. |
| 22 — | 8 | Pas de nuages. Soleil et ciel pur toute la journée. Vent du nord. |
| 23 — | 8 | Pas de nuages. Soleil et ciel pur toute la journée. Vent du nord. |
| 24 — | 11 | Pas de nuages. Soleil et ciel pur toute la journée. Vent du S. W. |
| 25 — | 6 | Pas de nuages. Soleil et ciel pur toute la journée. Vent du S. W. |
| 26 — | 8 | Quelques nuages dans l'après-midi. Vent du N.-E. |
| 27 — | 9 (29) | Nuages de midi à 3 h. Même jour que la veille. |

| Dates. | Combustion solaire 0/0. | Observations. |
|----------|----------------------------|---|
| 28 août | 8 (42) | Pas de nuages. Belle journée, vent du N. et N.-E. |
| 29 — | 7 (41) | — — — |
| 30 — | 7 (35) | Pas de nuages, belle journée, vent du S. Wet du N.-E. |
| 31 — | 7 (39) | — — — vent du S.-E. |
| 18 sept. | 9 | Temps couvert toute la journée. |
| 9 — | 10 (27) | Beau soleil toute la journée. |
| 22 — | 10 | Nuages rares. |
| 23 — | 11 | Beau. Le soleil a brillé toute la journée. |
| 24 — | 11 | Soleil parfois voilé à partir de midi. |
| 25 — | 14 | Ciel couvert toute la journée, vent du sud. |

On voit que, sauf la journée exceptionnelle du 8 juillet (pour laquelle on n'a qu'une observation, le vent ayant submergé l'une des deux cuvettes, et peut-être apporté des poussières dans l'autre) tous ces nombres déterminés en Algérie sont notablement inférieurs à ceux qu'on trouve en France à la même époque et surtout à Helsingfors. Il est très curieux de voir de belles journées sans nuages à Sétif se traduire par une combustion de 7 à 9 0/0 à la fin d'août, pendant qu'on observe des combustions de 35 à 40 0/0 dans le Cantal, par de belles journées aussi, et alors qu'à Helsingfors, par de belles journées de septembre, nous trouvons, à la même époque, avec des cuvettes contenant seulement 10 c. c., des chiffres dépassant 50 0/0. Il ne paraît donc pas douteux que la puissance actinique du soleil ne soit plus faible à Sétif qu'en France, et en France qu'en Finlande, et cela bien que la température moyenne aille au contraire en décroissant du Sud au Nord. Si ces résultats se généralisaient, il faudrait en conclure que le climat actinique marche à l'inverse du climat thermométrique, ce qui se comprend du reste, si on admet que la chaleur est le facteur principal de l'expansion dans l'atmosphère des produits organiques combustibles qui arrêtent d'autant plus le rayonnement actinique qu'ils sont plus abondants.

J'incline plutôt vers cette explication que vers celle qui mettait en jeu la puissance de l'ozone. Mais ce n'est pas le moment de discuter cette question. Nous en avons une autre à aborder. Nous venons de voir qu'il y a une différence de *qualité* dans la lumière versée sur les différents points du globe. Il est clair que les différences de durée d'insolation amènent d'autres différences dans la *quantité*.

Les jours utiles à la végétation dans le Nord sont plus longs que chez nous. Quelle est l'influence de la durée de l'éclairement sur le phénomène chimique qui nous sert de moyen de mesure? L'effet produit est-il proportionnel à la durée de l'exposition au soleil? Croît-il plus ou moins lentement qu'elle? Telle est la question que nous avons à nous poser.

Je la crois neuve, parce que, jusqu'ici, dans les instruments météorologiques comme dans les spéculations théoriques, on a toujours envisagé que l'effet d'un éclairement était, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à sa durée. Nous allons voir qu'il n'en est pas ainsi, et qu'il croît beaucoup plus vite.

INFLUENCE DE LA DURÉE DE L'ÉCLAIREMENT

Jusqu'ici nous avons pris, comme représentant l'effet actinique total pendant la période d'exposition, le total de l'acide oxalique brûlé. Les conclusions auxquelles nous sommes arrivés subsistent, quelle que soit la loi qui relie la combustion à l'effet actinique, à la condition que l'un augmente ou diminue avec l'autre, et nous savons qu'il en est ainsi. Mais la loi de cette augmentation mérite une étude plus approfondie. Pour la faire, demandons-nous si l'effet total de combustion observé à la fin d'une journée, sur une solution d'acide oxalique exposée au soleil, représente la somme des divers effets actiniques produits aux diverses heures. Pour le savoir, exposons, l'une à côté de l'autre, deux cuvettes renfermant la même quantité de la même solution, l'une que nous étudierons seulement à la fin du jour, l'autre où nous ferons le dosage acidimétrique au bout d'une heure, en la remplaçant de suite par une autre toute pareille, renfermant du liquide neuf, et que nous traiterons de même une heure après. Si les effets actiniques s'accumulent, sans pertes ni empiètements, dans le liquide de la cuvette restée toute la journée au soleil, la quantité d'acide dont nous y constaterons la disparition devra être égale à la somme des quantités d'acide disparues dans les cuvettes exposées une heure chacune.

L'expérience, plusieurs fois faite, montre qu'il n'en est jamais ainsi. Le total des quantités d'acide brûlées dans les cuvettes exposées une heure chacune est insignifiant au regard de celles

qu'on trouve brûlées dans la cuvette qui a passé la journée au soleil. La différence est variable d'une journée à l'autre. Elle diminue un peu quand on porte à deux heures la durée minima de temps d'exposition des cuvettes successives, encore plus quand on la porte à 3, à 4. En partageant la journée de dix heures en deux périodes égales, l'une de sept heures du matin à midi, l'autre de midi à cinq heures, le total de l'acide brûlé dans les deux cuvettes correspondant aux périodes d'exposition ne dépasse quelquefois pas la moitié de l'acide brûlé dans la cuvette exposée dix heures au soleil. Nous pouvons donc conclure de l'ensemble de ces expériences qu'il y a un *temps mort* au commencement de la combustion, qu'une heure et demie, deux heures sont nécessaires pour que la combustion commence : pendant cette période le travail est tout intérieur, et ne se traduit par aucune diminution du titre acidimétrique.

Ce *temps mort* du début ne doit pas nous surprendre. Quand on étudie à ce point de vue les diverses réactions de la chimie, on s'aperçoit qu'il n'y en a guère qui commencent immédiatement, dès qu'ont été réalisées les conditions *extérieures* de leur production. MM. Bunsen et Roscoë ont observé ce fait dans leurs recherches relatives à l'action de la lumière sur un mélange de chlore et d'hydrogène, et l'ont étudié sous le nom d'*induction photochimique*. Un mélange de formiate et de permanganate de potasse reste en apparence inerte pendant quelques secondes, après lesquelles commence un dégagement gazeux abondant, et en quelque sorte explosif, d'acide carbonique, provenant de l'oxydation de l'acide formique. Ce n'est de même qu'au bout d'un instant que du chlorure d'argent se réduit à la lumière en présence d'une matière organique, et on constate des *temps morts* tout pareils dans toutes les opérations photographiques, qu'il s'agisse d'impressions lumineuses, de développement des clichés ou de tirage des positifs.

En quoi consiste le travail moléculaire qui s'accomplit pendant cette période ? c'est ce qu'il est difficile de dire. Il est probablement du même ordre que celui qui s'accomplit pendant la période de sensibilisation de notre liqueur oxalique, dont nous avons parlé plus haut. J'ai constaté en effet qu'il est moins long avec les solutions sensibilisées qu'avec les solutions neuves, de sorte que si celles-ci ne subissent pas au soleil le même degré

de combustion que les autres, c'est en partie parce que le temps mort à l'origine est plus court. Je dis *en partie*, parce que la combustion commencée, elle ne marche pas, comme nous allons le voir, d'un pas régulier, mais subit une accélération plus ou moins grande.

Pour nous rendre compte de sa marche, modifions un peu l'expérience qui précède. Exposons le matin au soleil une douzaine de cuvettes toutes pareilles, et toutes les deux heures, retirons-en deux qui nous donneront le total de la combustion jusqu'à ce moment-là. Il sera facile de tirer de là la marche de la combustion au long de la journée. Voici une expérience que je cite, non pas qu'elle soit la plus complète de celles que j'ai faites, mais parce qu'elle a porté sur un liquide de même sensibilité que celui d'autres expériences que j'aurai à citer tout à l'heure.

EXPÉRIENCE. — Le 6 septembre 1888, à 8 h. 30 du matin, j'expose au soleil 4 cuvettes que je retire à divers intervalles, et je mesure les proportions d'acide oxalique brûlé.

| | Combustion solaire 0/0 |
|----------------|---------------------------|
| Après 2 heures | 0 |
| — 4 heures | 3 |
| — 8 heures | 40 |
| — 10 heures | 42 |

On reconnaît au départ le temps mort de l'origine. On voit de plus que de la 4^e à la 8^e heure, c'est-à-dire de midi et demi à quatre heures et demie, la combustion a été deux fois plus rapide que pendant les quatre premières heures; elle a même été plus rapide que de dix heures et demie à midi et demi, malgré la distance croissante du soleil au zénith. De quatre heures et demie à six heures et demie, elle a aussi été très sensible, malgré le soleil déjà bas sur l'horizon.

Ce fait est général, et de l'ensemble de mes résultats, je crois pouvoir conclure, comme vérité démontrée, que la marche de la combustion horaire ne reste pas constante, et au lieu de croître vers midi pour diminuer ensuite, subit dans la soirée une accélération progressive, qui ne s'éteint que lorsque le soleil est près de se coucher.

Tout se passe donc comme si la sensibilité de la solution

oxalique augmentait avec la durée d'exposition à la lumière. Rien ne nous dit en effet que la sensibilisation que nous l'avons vue subir à l'obscurité, sous l'action du temps, arrive ainsi à son maximum, et rien n'est plus naturel que d'attribuer à la lumière la faculté de prédisposer à la combustion l'acide oxalique qu'elle n'a pu encore oxyder et faire disparaître.

L'expérience suivante montre en effet qu'une solution restée exposée au soleil et qui ne s'y est pas complètement brûlée, conserve pour le lendemain une sensibilité plus grande qu'une solution non insolée la veille.

EXPÉRIENCE. — Elle se fait en exposant chaque jour à la lumière 4 cuvettes identiques, dont 2 sont étudiées le même jour, et deux autres mises en réserve pour le lendemain, jour où on les expose de nouveau au soleil avec deux cuvettes neuves. On compare le total de la combustion dans les deux jours consécutifs à la somme des combustions dans les cuvettes exposées chacune un jour. Voici quelques-uns des résultats.

| | | | | | |
|---|---------|------------|--------|---|---------|
| Journée du | 2 sept. | Combustion | 10 0/0 | } | 34 0/0. |
| — | 3 sept. | | 24 | | |
| Journées des 2 et 3 sept. | | | | | 68 0/0. |
| L'oxydation a donc doublé. Voici une autre expérience : | | | | | |
| Journée du | 4 sept. | Combustion | 12 0/0 | } | 23 0/0. |
| — | 5 sept. | — | 11 | | |
| Journées des 4 et 5 sept. | | | | | 38 0/0. |

La différence est un peu moins grande que tout à l'heure parce que les deux journées ont été toutes les deux médiocres, tandis que la journée du 3 septembre, dans l'expérience précédente, avait été assez belle.

On voit que la cuvette insolée de la première expérience a subi le second jour une combustion de $68 - 10 = 58$ 0/0, alors qu'une cuvette neuve ne subissait qu'une combustion de 24 0/0. Pour la seconde expérience, les chiffres sont 26 et 11. La sensibilité de la solution oxalique augmente donc par l'insolation, et cette augmentation persiste au moins du jour au lendemain.

Des expériences du même ordre, dans le détail desquelles je n'entrerai pas, prouvent que cette exaltation de la sensibilité produite par l'insolation dure jusqu'au surlendemain, dans une liqueur conservée ensuite à l'obscurité, et que ce n'est qu'après trois jours qu'on n'en trouve quasi plus trace. La liqueur insolée revient à la sensibilité de la liqueur mère, qui semble ainsi correspondre à une sorte d'état d'équilibre. Il est remarquable en effet que les diverses liqueurs sensibles dont j'ai eu besoin dans

ces expériences, et qui ont été préparées à des époques très diverses, avec la précaution de ne les utiliser qu'au bout de quelques mois, avaient toutes, au moment de l'usage, à peu près la même sensibilité. Précisément les 8 et 9 septembre, j'ai eu à changer de liquide, et j'ai profité de ce que les deux journées étaient médiocres pour comparer l'ancienne liqueur et la nouvelle. La combustion a été la même pour les deux. M. Elfving a comparé de même deux solutions que je lui avais envoyées à un an de distance et a trouvé, dans quatre jours d'expériences, les nombres correspondants suivants pour l'ancienne et la nouvelle : 58 et 56 ; 52 et 51 ; 63 et 60 ; 42 et 35. L'ancienne solution était un peu plus sensible, c'est ce qui a lieu d'ordinaire, mais la différence était très faible.

On peut se demander si l'augmentation de la combustion dans une cuvette insolée la veille ne tiendrait pas seulement à la suppression du *temps mort* que nous avons constaté au début de l'insolation. Il suffit, pour le savoir, de couper, par une observation intermédiaire, les deux journées d'insolation, et de chercher quelle est la combustion pendant chacun des intervalles.

Exp. — Le 12 septembre 1888, par une belle journée de soleil chaud avec rares cumulus, on expose 4 cuvettes, 1, 2, 3, 4.

| | | |
|--|------------------------|--------|
| La cuvette 1 est étudiée après 6 heures. | La combustion y est de | 40 0/0 |
| — 2 — — — 9 — — | | 48 0/0 |

Les cuvettes 3 et 4 sont exposées à nouveau le lendemain avec 2 cuvettes neuves 3' et 4'. Cette journée du 13 est très belle : rares cirrus.

| | | |
|---|------------------------|--------|
| La cuvette 3' est étudiée après 6 heures. | La combustion a été de | 43 0/0 |
| — 3 — — — 6 — — | | 44 0/0 |

La différence est donc considérable et tient certainement en partie à la diminution du temps mort dans la cuvette insolée la veille. Mais il n'y a pas que cela, car, dans la seconde moitié de la journée, cette cuvette conserve l'avance.

| | | |
|---|------------------------|--------|
| La cuvette 4' a été étudiée après 9 heures. | La combustion y est de | 25 0/0 |
| — 4 — — — 9 — — | | 62 0/0 |

L'accélération se conserve donc toute la journée, puisque tandis que dans la seconde moitié du second jour le liquide neuf ne subissait qu'une augmentation de $25 - 13 = 12$ 0/0 dans sa combustion, le liquide insolé la veille passait de 44 à 62, subissant ainsi une augmentation de 18 0/0. On peut remarquer de même que le matin il avait augmenté de 26 0/0, tandis que le liquide neuf n'avait subi qu'une combustion de 13 0/0. C'était à

cause du temps mort. Les deux liqueurs se sont un peu plus égalisées le soir, mais la solution insolée a conservé l'avance.

Enfin, ce qui n'est pas moins curieux que tout ce qui précède, c'est que cette sensibilisation exagérée sous l'action de la lumière permet à la solution de subir à la lumière diffuse une combustion qu'elle ne subit pas lorsqu'elle est à son degré de sensibilité normale : c'est ce que montre l'expérience suivante.

En août 1889, à Noalhac, tout près d'Aurillac, à une altitude de 700 mètres environ, je prépare une liqueur d'acide oxalique sensible dont partie est abandonnée dans un flacon, à une lumière très faible, et partie est enfermée dans un flacon bouché et exposé au soleil : c'était pour voir si la sensibilisation au soleil s'accompagnait nécessairement d'un procès de combustion. L'expérience en flacon clos a montré qu'il n'en était pas ainsi. Le liquide contenu n'a eu à sa disposition que la petite quantité d'oxygène dissous qu'il a consommé en diminuant faiblement de titre, et en un jour d'insolation il a atteint une sensibilité exaltée qu'on a maintenue quelques jours, en le gardant ensuite à la lumière diffuse.

Le 30 août, j'expose au soleil 2 cuvettes, contenant de ce liquide insolé, en même temps que 2 cuvettes du même liquide non insolé. Les chiffres de combustion solaire sont 18 et 19 0/0 pour ce dernier, de 92 et de 92 0/0 pour l'autre. La journée a été fort belle. Le flacon de liqueur insolée est resté au soleil.

Le 31 août, on prépare 2 groupes de 2 cuvettes, contenant l'une, du liquide non insolé; l'autre du liquide insolé. L'un de ces groupes est exposé au soleil; l'autre sur l'appui d'une fenêtre exposée au nord, où il ne reçoit que la lumière du ciel, tamisée ce jour-là par un peu de brume sèche. Le chiffres trouvés après 8 heures d'exposition ont été les suivants :

| | | | |
|--------------------|------|--------|-----------------------|
| Liquide non insolé | perd | 24 0/0 | au soleil. |
| — insolé | — | 63 0/0 | — |
| — non insolé | | 6 0/0 | à la lumière diffuse. |
| — insolé | | 19 0/0 | — |

Le surlendemain 2 septembre, par une journée sombre avec menaces d'orage, la même disposition a donné les chiffres suivants :

| | | | |
|--------------------|------|--------|-----------------------|
| Liquide non insolé | perd | 43 0/0 | au soleil. |
| — insolé | — | 50 0/0 | — |
| — non insolé | perd | 3 0/0 | à la lumière diffuse. |
| — insolé | — | 6 0/0 | — |

Ainsi l'insolation préalable augmente la rapidité de combustion non seulement à la lumière directe, mais aussi à la lumière diffuse. L'expérience du 31 août montre pourtant, lorsqu'on la compare à la première, que cette lumière diffuse doit avoir une certaine intensité pour que son effet soit mesurable après quelques heures. La liqueur insolée, exposée dans une chambre sur

un point éloigné de la fenêtre, ne change pas sensiblement de titre dans l'intervalle de quelques jours, mais elle en change en un mois, et on observe ainsi chez elle, avec une intensité plus grande, les phénomènes de combustion lente remarqués, depuis Wittstein, dans les solutions titrées d'acide oxalique. Cette sorte d'impression solaire persiste en effet après que la solution a été mise dans l'obscurité :

EXPÉRIENCE. — On recommence une expérience identique à celles qui précèdent avec cette différence que le flacon contenant la dissolution insolée à l'abri de l'air est gardé trois nuits et deux jours au laboratoire avant d'être distribué dans les cuvettes le 6 septembre. Malheureusement cette journée du 6 est troublée par des cirrus et des nuelles.

Liquide non insolé perd 7 0/0 au soleil.

— insolé — 20 0/0 —

Les combustions à la lumière diffuse ont été insignifiantes.

La proportion d'acide oxalique brûlée au soleil est donc encore, après trois nuits et deux jours, trois fois plus grande dans la liqueur insolée que dans l'autre. Mais elle décroît ensuite, et après quelques jours la différence cesse d'être mesurable après un jour d'exposition. Nous retrouvons donc là cette rétrogradation de la sensibilité que nous avons signalée plus haut.

Cette impression solaire qui s'efface lentement, se produit au contraire très vite, et en étudiant comparativement des flacons exposés au soleil 1, 2 et 3 jours consécutifs, je n'ai pu constater entre eux aucune différence sensible.

Si nous revenons maintenant, avec les résultats acquis, à notre étude sur la lumière des régions voisines du pôle, nous voyons que ces régions ont à ce point de vue une double supériorité sur les nôtres.

L'une, qui tient à la constitution de leur atmosphère, c'est que l'absorption des radiations chimiques de la lumière solaire y est moins complète que chez nous. La puissance actinique, au niveau du sol, dépasse celle que nous constatons autour de nous aux diverses heures de la journée.

L'autre, due à leur situation géographique, tient à ce que pendant la période de végétation le jour y est plus long que dans nos régions tempérées, et que la puissance actinique, du moins sur les solutions d'acide oxalique, augmente plus vite que la durée du jour et ne lui est nullement proportionnelle. C'est

ce que montrent avec netteté les résultats comparatifs des expériences faites à ma prière par M. Elfving et relatées pages 153, 154 et 156. Après une période de préparation, la combustion commence, s'accélère de façon à réparer d'abord la perte de temps du début, et finit par atteindre le soir des chiffres très élevés, inconnus dans nos régions. C'est ainsi qu'elle s'est élevée à 87 et 89 0/0 les 2 et 4 septembre 1887, à 79 et 80 0/0 les 9 et 11 juin 1888, à 75 0/0 le 27 août 1888, alors que les nombres les plus élevés, relatifs aux mêmes périodes, et avec les mêmes liquides, ne s'élevaient pas à 50 0/0 dans nos régions et étaient même parfois notablement au-dessous.

Non seulement l'effet d'une belle journée augmente sensiblement plus vite que la durée, mais encore l'effet d'une belle matinée peut suffire à rendre la combustion rapide dans une soirée sombre et nuageuse. Il suffit que le liquide ait été sensibilisé, et comme cette sensibilisation doit être d'autant plus rapide que l'intensité actinique est plus considérable, la constitution de l'atmosphère des pays du nord les favorise à ce point de vue plus que nous.

Enfin la sensibilisation produite par une belle journée persiste pendant quelques jours. Si donc une succession de beaux jours ne produit pas, au point de vue chimique, un effet notablement supérieur à leur durée, la sensibilité ne s'exaltant pas outre mesure et atteignant rapidement un maximum qu'elle ne dépasse que lentement, une succession de mauvais jours succédant à une belle journée n'est pas une période inerte et perdue, à raison de la sensibilité chimique acquise au début. On retrouve là, sous une autre forme, ce système de pondération qui atténue les gros effets, augmente les petits et qu'on a observé dans tant d'autres phénomènes naturels.

En somme, il semble qu'on ait fait fausse route jusqu'ici en considérant les actions chimiques de la lumière solaire comme indépendantes des lieux, et comme proportionnelles à la durée de l'insolation fournie par les instruments météorologiques. La puissance actinique d'une journée n'est pas la même à jour égal pour les diverses régions du globe, et son effet croît plus vite que sa durée. Tel est l'enseignement principal qui résulte de ce mémoire.

Il y aurait un pas de plus à faire. Nous venons de constater

dans la solution oxalique une sorte d'emmagasinement de la lumière, se traduisant par une sensibilisation de la liqueur. L'oxygène présent dans un liquide ne pourrait-il pas à son tour être sensibilisé et revêtu d'une puissance oxydante qu'il pourrait ensuite exercer à la lumière diffuse? Je n'ai rien trouvé en cherchant dans cette voie avec l'acide oxalique; mais j'avais auparavant été plus heureux avec des substances, non pas plus oxydables, mais à dosage plus précis, de sorte que la plus petite variation de proportion devenait mesurable. Je veux parler des diastases. J'ai montré que de la présure s'oxydait et disparaissait dans une eau qu'on avait préalablement exposée au soleil, alors qu'elle restait intacte ou à peu près dans la même eau puisée au robinet. J'ai fait voir aussi qu'un flacon de verre exposé au soleil emmagasinait sur ses parois ou dans son contenu assez de radiations chimiques pour activer ensuite l'oxydation d'une solution de présure qu'on y laissait séjourner à l'ombre.

Les liquides ou solides insolés peuvent donc, comme nos solutions d'acide oxalique, acquérir des propriétés qu'ils n'avaient pas avant. Et dès lors les phénomènes de combustion solaire prennent dans l'économie générale du monde une importance sans doute très inférieure à celle des ferments, mais qui n'est pas négligeable, et de plus présente une flexibilité d'allures et une variété d'actions tout à fait comparables à celle que manifestent les êtres microscopiques. J'ai montré que dans une dissolution de glucose, rendue alcaline par la potasse, l'action solaire donne parfois de l'alcool et de l'acide carbonique par une combustion intérieure analogue à la fermentation alcoolique. Je viens de découvrir que l'on peut produire dans les mêmes conditions, non plus quelque chose d'analogue à la fermentation alcoolique, mais quelque chose d'analogue à la fermentation lactique. Il n'y a plus d'alcool, ou presque plus, mais il se forme de l'acide lactique. L'action lumineuse, variable en *quantité* suivant les lieux et les saisons, comme l'ont montré les divers chapitres de ce mémoire, peut donc encore se différencier à son arrivée par la *qualité* des effets produits. Tous ces faits donnent à l'étude de cette radiation chimique une importance de premier ordre, et je m'estimerai heureux si les premiers résultats contenus dans ce travail excitent les savants à de nouvelles recherches.

VACCINE ET RÉTROVACCINE A BATAVIA

PAR LE D^r L. J. EILERTS DE HAAN

La vaccine a été introduite dans les Indes-Orientales néerlandaises huit ans après sa découverte par Jenner, et depuis ce moment, le gouvernement de ces îles a pris grand soin de sa propagation. Cette culture de bras à bras a néanmoins été interrompue bien des fois dans tel ou tel district, et il fallait attendre alors une nouvelle importation d'un autre district ou de la Hollande. Maintes fois, à raison de la distance, le vaccin venu de Hollande ne donnait que des résultats médiocres ou nuls.

C'est pour cela que plusieurs médecins civils et militaires des colonies ont essayé de cultiver la vaccine sur des veaux ou des vaches : chose surprenante, ils n'ont réussi à cela qu'en 1884, année où le D^r Schuckink Kool a réussi l'inoculation sur une génisse de la vaccine provenant d'un enfant.

Cette rétrovaccine donna de bons résultats, et, en 1890, l'heureux expérimentateur reçut mission de fonder à Batavia un Institut pour la culture du vaccin animal, destiné à en fournir aux districts qui en manqueraient. Cet Institut n'a eu depuis aucun besoin du vaccin d'Europe, et fournit assez de vaccin pour que j'aie pu proposer l'an dernier de commencer sur une large échelle les inoculations sur l'homme avec de la vaccine animale.

Il fallait s'attendre aux objections de ceux qui différencient la rétrovaccine et le cowpox, et n'attribuent pas à la première la puissance de protection de la seconde. J'ai donc dû comparer les deux virus, et voici le résumé de mes résultats dans les 5 dernières années. Les chiffres du tableau sont les nombres d'inoculations réussies, en moyenne, sur dix piqûres faites à chaque enfant vacciné.

| Cowpox et rétrovaccine fraîche. | | Cowpox et rétrovaccine cons. dans la glycérine. | | Vaccine humanisée de bras à bras. |
|---------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|
| 1891. | 83 enfants europ. 5,3 93 — indig. 6,3 | 82 enfants indig. 3,5 | | 125 enfants indig. 5,7 |
| 1892. | 237 — europ. 7,1 171 — indig. 7,2 | 205 — indig. 7,6 | | 164 enfants indig. 8,5 |
| 1893. | 197 — europ. 7,2 133 — indig. 7,0 | 123 — indig. 6,7 | | 241 — indig. 7,0 |
| 1894. | 184 — europ. 7,5 110 — indig. 6,4 | 65 — indig. 6,3 | | 345 — indig. 6,5 |
| 1895. | 5 — europ. 7,8 | 83 — indig. 7,7 | | |

La plupart des personnes venues en 1895 ont été inoculées par 2 stries de 2 à 3 centimètres de longueur; voici les résultats comparatifs :

| Rétrovaccine fraîche. | Rétrovaccine conservée. |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Sur 225 enfants européens, | Sur 326 enfants indigènes, |
| 209 ont eu 2 stries réussies. | 226 ont eu 2 stries réussies. |
| 10 ont eu 1 strie réussie. | 49 ont eu 1 strie réussie. |
| 4 ont eu moins d'une strie. | 9 ont eu 0 stries. (Quatre |
| 2 ont eu 0 stries. (L'un avait | de ces enfants avaient eu la |
| eu la petite vérole en 1874.) | petite vérole en 1894 et 1895.) |

Au sujet du premier tableau, je dois ajouter que, depuis le 8 mai 1894, le cowpox d'origine n'a plus été employé à l'Institut de Batavia, et que depuis l'an dernier on n'inocule plus que la rétrovaccine fraîche et conservée dans la glycérine. On voit que les vaccins de ces 3 origines donnent les mêmes résultats sur l'homme, en ce qui concerne la proportion des inoculations réussies.

Mais si les pustules sont aussi nombreuses dans un cas que dans l'autre, il n'en résulte pas que les pouvoirs protecteurs soient égaux. Voyons ce que dit à ce sujet l'expérience.

1^{re} série. — Un singe (*Macacus cynomolgus*) est rasé sur le dos sur une surface d'environ 10 c. c., qui est lavée au savon, puis avec une solution d'acide borique et salicylique, puis séchée. On fait ensuite 5 piqûres avec de la rétrovaccine fraîchement récoltée sur une génisse. Quatre jours après, papules qui montrent des excavations le 7^e jour, et évoluent à la façon ordinaire. Cette expérience faite sur 6 autres singes donne le même résultat. Le singe peut donc recevoir la rétrovaccine.

2^e série. — Ces sept singes sont inoculés à nouveau, dès que les croûtes sont tombées, avec la rétrovaccine fraîche. Aucune pustule. Le singe infecté par la rétrovaccine est donc immunisé contre la rétrovaccine.

3^e série. — Un singe est inoculé, avec les mêmes précautions



3^e passage de petite vérole sur le *Macacus cynomolgus*, d'après une photographie de M. le Dr Roll.

que dans la première série, avec le contenu de pustules de variole, trouvée sur un enfant javanais. Sept jours après, papules excavées et entourées d'une aréole. En outre, quelques papules aux lèvres et aux extrémités. Cette généralisation ne s'est produite qu'une fois dans sept expériences pareilles, que j'ai faites toutes les fois que j'ai pu rencontrer un cas de petite vérole. Mais toujours j'ai eu des pustules.

Le singe peut donc être infecté avec la petite vérole de

l'homme, et cette variolation ne donne le plus souvent qu'une éruption locale.

4^e série. — Un singe est inoculé avec le contenu des pustules d'un des singes de la 1^{re} série. Ce second passage donne, après 7 jours, de bonnes pustules. Même résultat jusqu'au 7^e passage.

5^e série. — Les singes de la 4^e série sont inoculés, après que les croûtes sont tombées, avec de la rétrovaccine fraîche. Aucune pustule.

La rétrovaccine cultivée par passages sur le singe garde donc son pouvoir infectant et son pouvoir immunisant.

6^e série. — Les sept singes de la 2^e série et les six singes de la 5^e sont inoculés avec le contenu de pustules de petite vérole. Aucune pustule.

La rétrovaccine de la génisse, aussi bien que la rétrovaccine cultivée par 7 passages sur le singe, préserve donc le singe contre la petite vérole.

7^e série. — La petite vérole du 1^{er} singe de la 3^e série est inoculée sur un second singe : on n'obtient que des pustules localisées au point d'inoculation. Les 3^e, 4^e, 5^e, 6^e et 7^e passage donnent les mêmes pustules, toujours en 7 jours. (V. la fig. p. 171.) Cette série d'expériences est répétée 3 fois avec le même résultat.

8^e série. — Avec le 6^e passage de la 7^e série, on inocule un veau. Après cinq jours, ce veau montre des pustules qui ressemblent sous tous les rapports à la vaccine ordinaire du veau. Cette expérience a été répétée avec le même résultat avec le 7^e passage de la 7^e série.

9^e série. — Le second veau de la 8^e série est inoculé, sept jours après la première inoculation, avec de la rétrovaccine fraîche, et cela sans résultat.

On peut donc tirer de ces expériences cette conclusion importante que la rétrovaccine défend l'organisme du singe contre le virus de la petite vérole. Ce fait plaide en faveur de l'identité de cette rétrovaccine avec la vaccine ordinaire qui produit les mêmes effets.

Nous ne savons rien en ce moment sur l'origine du cow-pox, souche de la vaccine, ni sur les relations de ces virus avec

celui de la variole. Comme on a observé dès l'origine que le véritable cowpox, transplanté longtemps de bras à bras, ou de génisse à génisse, dégénère, on a cherché une source où le renouveler, et Badcock a essayé le premier de cultiver le vaccin par inoculation de la variole à la vache. Il a vu ainsi une vaccine magnifique se développer, et il l'a employée avec succès sur 14,000 personnes. Ceely, Vogt, Elnod et Haccius, King ont répété ces expériences, considéré cette variole mitigée comme un vrai cowpox, et l'ont fait servir avec succès à des vaccinations. Seules, les expériences de Chauveau avertissent qu'il faut être prudent dans cette voie. Mais il n'en reste pas moins avéré que la petite vérole, mitigée par passage de eau sur veau, peut servir [de vaccin contre la petite vérole, tout à fait comme le véritable cowpox.

Dès lors on peut se demander pourquoi le véritable cowpox, la petite vérole mitigée et la rétrovaccine ne seraient pas identiques. Ces trois virus : 1^o donnent chez l'homme, en 7 jours, des pustules de même aspect, avec un accès de fièvre plus ou moins fort ; 2^o protègent contre la variole ; 3^o changent de durée de développement quand on les inocule à diverses espèces d'animaux ; 4^o dégénèrent après un nombre plus ou moins grand de passages sur la même espèce.

J'insiste sur les deux derniers points. La pustulation de la vaccine et de la rétrovaccine dure 7 jours chez l'homme, 5 jours chez la génisse, 7 jours chez le singe. La variole inoculée au singe évolue aussi en 7 jours dans ses passages successifs, et cette variole de 7^e passage, rapportée à la génisse, donne en 5 jours des pustules excavées et aréolées, dont le contenu évolue encore en 5 jours chez une seconde génisse.

Sur le quatrième point, j'ai à dire que les 3 vaccins contre la petite vérole dégénèrent assez vite sous le climat de Java, plus vite qu'en Europe. J'ai fait à ce sujet beaucoup d'expériences avec la rétrovaccine : du 7^e au 15^e passage, on voit les pustules se rapetisser, s'appauvrir en lymphes, et ne donner sur une nouvelle génisse que des pustules inutilisables.

Avec le cow-pox, même résultat : en voici un exemple frappant. Au commencement de 1894, j'eus le plaisir de recevoir, du Dr Violi de Constantinople, un des défenseurs les plus convaincus de la vaccination avec du cowpox véritable, une

petite quantité de vaccin provenant du cowpox. Ce vaccin porté sur la génisse a donné de la rétrovaccine excellente pendant les 9 premiers passages. Au dixième, les pustules étaient petites; au 11^e et au 12^e, meilleures; au 13^e et 14^e, moins bonnes; au 15^e et 16^e, bonnes; au 17^e, 18^e, 19^e et 20^e, moins bonnes. Au 21^e passage, une génisse fut inoculée par 180 piqûres du virus du 20^e passage. Aucune pustule ne réussit, le virus était mort.

La petite vérole mitigée du singe pent, nous venons de le voir, supporter 7 passages; elle s'affaiblit au 8^e. Dans une autre expérience, après 6 passages donnant des pustules magnifiques, le 7^e n'en a plus donné que de petites.

Le virus du 4^e passage de cette dernière expérience a été inoculé à un veau qui a montré de belles pustules le 5^e jour. Le contenu de ces pustules, inoculé à un autre veau, a donné de bonnes pustules jusqu'au 8^e passage.

Tout cela conclut évidemment en faveur de l'identité entre la vaccine, la rétrovaccine et la variole mitigée. Il me semble qu'il est illogique de les séparer. Pourquoi distinguer le vaccin humanisé, obtenu par culture de bras à bras du cowpox de la vache, du rétrovaccin provenant de ce vaccin humanisé revenu sur son terrain d'origine? Quant à ceux qui ne croient pas à l'identité de la petite vérole mitigée et de la vaccine, je leur demanderai : 1^o si la variole inoculée à l'homme, qui reste localisée et beaucoup moins dangereuse que la variole acquise par voie naturelle, a cessé par là d'être la variole; 2^o si la variole inoculée à la vache par Badcock, Voigt, etc., a cessé d'être la variole; 3^o si la petite vérole de mes expériences sur le singe n'est plus de la petite vérole? Dans ces trois cas, la variole est-elle devenue une variole atténuée ou une maladie nouvelle? La rage du chien, atténuée sur le singe, n'est-elle pas toujours la rage?

Je reconnais qu'il manque à ma démonstration d'avoir rapporté la variole mitigée du singe sur l'homme : c'est une expérience que je ne me suis pas cru en droit de faire. L'expérience de Chauveau enseigne à être prudent et je ne me croirais autorisé à faire cette tentative que si le vaccin ordinaire dont je me sers me manquait au moment d'une épidémie. Mais j'espère qu'on répétera mes expériences à ce sujet.

Quoi qu'il en soit, la rétrovaccine est une pratique précieuse dans les pays tropicaux qu'elle rend indépendants de l'Europe au point de vue des vaccins. Peut-être le singe pourrait-il servir de terrain de culture. Il est plus facile à transporter que la génisse. En tout cas, celle-ci peut suffire. Il faut savoir pourtant que le premier passage de la vaccine de l'homme sur cet animal ne donne pas toujours de grosses pustules. Mais, à la seconde inoculation, tout va bien. Il en est de même pour le premier passage du vaccin de la génisse sur l'homme.

Aussitôt qu'un passage de rétrovaccine de veau sur veau donne des pustules moins bonnes, il est avantageux de renouveler la culture en reportant le virus d'un enfant sur le veau. J'ai employé cette méthode pendant plus de deux ans, et j'ai réussi à avoir toujours du vaccin excellent à ma disposition sous un soleil tropical.

LES MICROBES DES RIVIÈRES DE L'INDE

Extrait d'une lettre de M. HANKIN, D'AGRA.

« J'espère vous envoyer bientôt un résumé de ma découverte au sujet du pouvoir que possède l'eau de certains fleuves de l'Inde, comme la Jumna et le Gange, de détruire le microbe du choléra. Cette action bactéricide me semble due à la présence de certaines substances acides volatiles. Cette découverte présente de l'intérêt, en ce qu'elle explique pourquoi, dans l'Inde, le choléra ne voyage jamais dans le sens du courant dans la vallée du Gange, mais nous arrive toujours de son berceau dans le Bengale. Les cadavres des morts du choléra sont souvent jetés dans les fleuves, et comme on ne connaît encore aucun cas authentique de contamination par cette voie, même chez ceux qui boivent exclusivement de l'eau des fleuves, c'est une des principales raisons pour lesquelles les médecins indiens n'ont pas voulu croire à l'origine hydrique du choléra.

« J'ai trouvé qu'au contraire le microbe du choléra se multiplie

vigoureusement dans l'eau des puits de la région. Les fleuves seuls semblent avoir un pouvoir merveilleux d'auto-purification. Voici, comme exemple, quelques nombres déterminés avec l'eau de la Jumna, qui arrose Agra. Cette ville de 160,000 habitants envoie tous ses égouts de surface dans la Jumna. La contamination bactériologique ainsi produite s'évanouit à moins de 12 milles et demi dans le sens du courant. Le nombre des bactéries qui est de 700 ou 750 par c. c. en amont de la ville, en face de la prise d'eau, monte à 16,000 et 21,000 au droit de la ville. Il tombe à 6,200, 7,600, 4,200 entre 3 et 4 milles de distance, à 500 et 760 entre 5 et 6 milles, et au bout de 120 milles est revenu aux chiffres de 125 et 130, tous pareils à ceux qu'on relève à Dhobus Ghat, à 5 ou 6 milles en amont d'Agra. Ces observations datent du commencement de février. Quant au bacille du choléra, l'eau possède la même action bactéricide sur lui, qu'on la puise au-dessus ou au-dessous de la ville, au voisinage d'un cadavre récemment jeté dans le courant ou près d'un cadavre ayant séjourné depuis longtemps dans l'eau. Voici les nombres :

| | A l'origine. | Après. | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------|-------|----------|----------|-------|--------|
| | | 1 h. | 2 h. | 3 h. 30' | 6 h. 30' | 21 h. | 48 h. |
| Eau de la Jumna..... | | | | | | | |
| En amont, filtrée au Berkefeld..... | 1,200 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| En aval..... | 1,500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Près d'un vieux cadavre..... | 1,250 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Près d'un cadavre récemment jeté.. | 2,000 | 500 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| En amont, eau bouillie..... | 1,250 | 1,209 | 1,500 | 200 | 1,000 | 2,000 | 25,000 |
| Eau de puits..... | 1,200 | 1,250 | 1,700 | 1,200 | 1,500 | 3,000 | 16,000 |

Les nombres du tableau sont les nombres de colonies de bacilles du choléra. On voit que l'eau de la Jumna bouillie et l'eau de puits favorisent la multiplication des microbes. D'autres expériences similaires ont donné les mêmes résultats, et la culture en peptone a montré que tous les microbes du choléra dans l'eau de la Jumna étaient réellement tués.

« Agra, 19 février 1896. »

REVUES ET ANALYSES

LE POUVOIR FERMENT ET L'ACTIVITÉ D'UNE LEVURE

REVUE CRITIQUE

I

En rapprochant de ce que l'on sait sur la fermentation alcoolique les considérations développées dans ma dernière *Revue critique*, on peut voir combien se complique, quand on cherche à le pénétrer dans le détail, ce phénomène qui a longtemps paru si simple qu'on le traduisait par une équation chimique. On peut se le représenter en gros sous la forme suivante.

Supposons un liquide nutritif et sucré dans lequel on introduit une semence très faible de levure. Celle-ci va se multiplier. Si nous envisageons seulement ses variations de poids, nous verrons qu'elle se multiplie rapidement à l'origine, tant qu'il y a de l'oxygène dans le liquide; plus lentement ensuite, à mesure que l'oxygène se fait plus rare. Si, au moment où elle ralentit ainsi son mouvement de prolifération, il reste encore beaucoup de sucre dans le liquide, ce sucre disparaît peu à peu, sans qu'il se forme en quantité sensible de nouveaux globules, et par l'effet de la vie prolongée des globules déjà existants qui s'épuisent, de sorte qu'à l'augmentation de poids survenue pendant la première partie de la vie de la levure, succède une diminution provenant de ce que l'augmentation du nombre des globules ne compense pas la dissolution de leurs éléments par suite de l'épuisement. Il y a donc un maximum dans le poids de la levure d'un liquide en fermentation. Ce maximum est d'autant plus voisin de la fin de la fermentation qu'il y a moins de sucre et plus de levure, que l'aération est plus facile, que le liquide est plus nutritif, et, en somme, comme je l'ai montré en 1885, dans ma *Thèse*, le poids de levure trouvé à la fin d'une fermentation accomplie dans les conditions ordinaires n'apprend *a priori* rien sur le poids maximum de la levure réellement entrée en action.

Quand le maximum ne s'est pas produit pendant la fermentation, il se produit quand elle est terminée. Les globules abandonnés à eux-mêmes dans le liquide fermenté continuent à vivre en liquéfiant leurs matériaux et en donnant même un peu d'alcool au dépens de leurs

hydrates de carbone en magasin. C'est ce que M. Pasteur a appelé la *vie continuée* des globules de levure, et nos notions à ce sujet datent de son mémoire de 1860 sur la fermentation alcoolique. Elles ont été souvent redécouvertes depuis.

Voilà pour ce qui concerne le poids de la levure. Si nous passons maintenant à ce que nous avons appelé son *activité* dans notre dernière *Revue*, c'est-à-dire à la quantité de sucre que l'unité de poids de cette levure, dans les conditions où elle opère, fait disparaître dans l'unité de temps, nous trouvons que cette activité est très variable et se traduit très différemment suivant les conditions de l'expérience.

Au contact de l'air, elle est très grande en apparence et se traduit, non par une abondante production d'alcool, mais par une abondante prolifération de cellules. C'est la plante *végétal* qui s'accroît. Le sucre disparaît rapidement, et une partie plus ou moins considérable de ce sucre se retrouve à l'état de cellules vivantes.

Quand l'oxygène se fait rare, l'activité reproductrice de la levure diminue; mais, comme elle devient ferment, et utilise de ce fait beaucoup plus incomplètement son aliment qu'elle ne le faisait lorsqu'elle avait beaucoup d'air, elle a besoin d'en avoir davantage à sa disposition.

Enfin, lorsque l'air lui manque, elle ne prolifère presque plus. Tout l'aliment qu'elle consomme est employé à nourrir et à sustenter les globules déjà formés, qui ont une vie moins active du fait de la privation d'oxygène, mais qui ont besoin de plus d'aliment, parce qu'ils l'utilisent plus mal que jamais. L'activité, telle que nous l'avons définie, résulte de cette superposition du besoin et de la fonction, de la quantité et de la qualité. Dans ces conditions, la plante *végétal* ne s'accroît presque plus, c'est la plante *ferment* qui est consommatrice, et le total du sucre qu'elle transforme en alcool peut atteindre un chiffre élevé, soit que l'activité soit faible et le temps de l'action considérable, soit que l'activité soit encore assez forte et le temps de la fermentation moyen.

En envisageant séparément l'un de l'autre le premier et le dernier stade que nous venons de décrire, on peut les considérer comme représentant en gros : le premier, la période de formation des tissus et de construction de l'être vivant; le second, la période d'entretien sans augmentation de poids, sous l'influence de la vie protoplasmique. Mais cette séparation est arbitraire et un peu illusoire, car elle fait croire que ces deux actions peuvent être séparées. Dans la réalité, elles s'accompagnent forcément et sont la rançon l'une de l'autre. Je n'ai jamais pu comprendre la fameuse distinction établie par Cl. Bernard, dans ses *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux végétaux et*

aux animaux, entre les phénomènes de création vitale ou de synthèse organique et les phénomènes de mort ou de destruction organique, phénomènes qui seraient, les premiers, d'ordre physiologique, les seconds, d'ordre physico-chimique, et qui, dans leur succession, seraient « les deux phases du grand acte vital. » On sait que Cl. Bernard avait essayé d'isoler les derniers des premiers, en les étudiant là où il pensait qu'ils se manifestaient seuls, dans les fermentations et les putréfactions. L'erreur fondamentale du point de départ de ce raisonnement lui a fait méconnaître le grand fait de la formation de la levure pendant la fermentation. En réalité, dans la vie physiologique, il est impossible de séparer le travail de construction et le travail de destruction qui sont concomitants et liés par une loi encore obscure d'équivalence. Même lorsque la levure semble le plus ne songer qu'à l'édification de cellules nouvelles, son protoplasme respire, brûle ses matériaux et donne de l'acide carbonique. Même lorsqu'elle semble ne se préoccuper que de faire vivre les cellules déjà faites et ne plus songer à la reproduction, on voit, en y regardant de près, qu'il y a encore création de tissus, et que si les vieux globules s'épuisent, c'est en partie au profit de globules jeunes ou de bourgeons nouveaux. Le maximum de poids de la levure a lieu, non pas au moment où de nouveaux globules cessent de se former, mais au moment où le poids total des globules néoformés compense la diminution de poids résultant du travail d'épuisement et de solubilisation des anciens globules. Plus tard, c'est la diminution qui l'emporte jusqu'au moment où la levure, affaiblie et totalement ou presque totalement vidée, prend de nouveau un poids constant que des années de séjour dans le liquide fermenté font à peine varier.

On voit par ce qui précède quelle foule de combinaisons variées entre le poids de sucre disparu, le poids d'alcool et le poids de levure peuvent prendre naissance dans des fermentations mises en train avec des liquides plus ou moins nutritifs, plus ou moins sucrés, plus ou moins aérés, exposés à des températures variées. On pourrait presque indéfiniment multiplier à ce sujet les essais, les analyses et les tableaux d'expérience, et publier des volumes. Mais quand on rencontre un de ces gros mémoires, bourrés de chiffres, il faut toujours se rappeler ces quelques lignes de M. Pasteur : « Dans l'étude des fermentations, dit-il, il n'est pas difficile de constater des faits particuliers, isolés, nouveaux ou paraissant d'être, tant ils sont nombreux et changeants. Mais si on n'en cherche pas la liaison avec le phénomène principal, si on n'établit pas que cette liaison existe ou qu'elle n'existe pas, souvent, au lieu d'éclairer le sujet, on ne fait que l'obscurcir. »

II

Ceserait porter un jugement trop sévère que d'appliquer ces derniers mots aux travaux que M. Ad. Brown¹ a publiés sur l'*Influence de l'oxygène sur la fermentation alcoolique* et sur le *Caractère spécifique des fonctions fermentatives des cellules de levure*, etc. Sans doute, M. Ad. Brown paraît avoir très inexactement interprété les vues de Pasteur sur la théorie physiologique de la fermentation. Il confond presque constamment, dans ses articles, ce que nous avons essayé de séparer plus haut sous le nom de *pouvoir ferment* et d'*activité* de la levure, c'est-à-dire une notion d'espace et une notion de vitesse. La critique de son travail se trouve en entier contenue dans les pages de la dernière *Revue* et dans les lignes qui précèdent ; il n'est pas nécessaire de la dégager. Il nous semble préférable d'extraire du mémoire de M. Ad. Brown des chiffres qui, convenablement interprétés, confirment les notions que nous avons établies plus haut, et vont au contraire contre celles de l'auteur.

Il y a, dans le travail de M. Brown, trois séries d'expériences. Je passerai rapidement sur celle où il prouve que dans des conditions extérieures identiques, et en présence de l'air, le pouvoir ferment d'une levure est beaucoup plus grand au début de l'action quand on lui donne du dextrose à consommer que lorsqu'on lui donne du sucre candi. On sait, au moins depuis M. Dumas², en 1872, que le dextrose est plus rapidement fermentescible que le saccharose, parce que la levure est dispensée du travail préliminaire de l'intervention. Les deux aliments ne sont pas à l'origine les mêmes, ni fournis en même quantité, puisque l'intervention du sucre candi n'est jamais immédiate. Il n'y a donc pas à s'étonner que les activités et les pouvoirs ferments de la levure dans ces deux cas soient différents au début. Ils s'équilibrent ensuite. Il n'y a là aucun argument contre les idées de Pasteur, et nous pouvons passer à la seconde série d'expériences.

Elle a consisté à mettre dans 5 flacons, en présence de 100 c. c. d'eau de levure, des quantités de 2,5 grammes, 5 grammes, 10 grammes, 15 grammes, 30 grammes de sucre de cannes ; on ensemait avec une trace de levure en laissant les cols fermés par un bouchon d'ouate. On a étudié toutes ces fermentations dès qu'elles ont été terminées, sauf pour la dernière, qu'on a interrompue et étudiée lorsqu'il y restait environ 5 grammes de sucre. On mesurait le poids de levure formée, on comptait le nombre relatif des globules, et on avait ainsi ce qu'il faut pour calculer les *pouvoirs ferments*. J'en ai tiré les *activités* composant la dernière colonne du tableau ci-dessous, qui donne le résumé des expériences.

1. *Trans.*, 1892, p. 369, et *Journal of the Chem^y Society*, 1894, p. 911.

2. *Ann. de Ch. et de Phys.*, 1872.

| Numéros. | Durée de la fermentation. | Grammes de sucre fermenté. | Poids de la levure en gr. | Nombre prop. de cellules. | Pouvoir ferment. | Activités de la levure. |
|----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|
| 1 | 5 jours. | 2,5 | 0,124 | 8,51 | 20,2 | » |
| 2 | 5 — | 5,0 | 0,153 | 9,94 | 32 | » |
| 3 | 7 — | 10,0 | 0,177 | 10,44 | 56 | 8 |
| 4 | 12 — | 20,0 | 0,140 | 11,17 | 143 | 12 |
| 5 | 20 — | 23,2 | 0,138 | 12,26 | 182 | 9 |

Il est trop clair que ces fermentations, bien que faites et données comme comparables, ne le sont pas, et qu'on ne saurait mettre au même niveau une levureensemencée dans une solution à 2,5 0/0 de sucre, et celle qui estensemencée dans le sirop à 30 0/0 de la dernière expérience. Ni au début, à cause des différences dans la concentration du sucre, ni à la fin, à cause des différences dans la concentration de l'alcool, les globules de levure ne sont dans des conditions comparables.

Prenons pourtant ces résultats dans leurs traits généraux. Le poids de la levure n'augmente pas aussi vite que le poids du sucre, et même diminue dans les deux derniers liquides. De cela, il n'y a pas à s'étonner: cela rentre dans les notions développées au commencement de cet article. Tout ce qu'il faut conclure, c'est que c'est pour ce liquide à 10 0/0 de sucre que le maximum du poids de levure est le plus rapproché de la fin de la fermentation.

Malgré la diminution de poids de la levure dans les expériences 4 et 5, on voit, en étudiant la colonne qui fournit les chiffres proportionnels du nombre des globules dans les divers flacons, que ces nombres vont en croissant: conclusion, ils sont plus épuisés dans les expériences 4 et 5 que dans les précédentes, puisqu'ils pèsent moins sous un nombre plus grand. Ce sont des globules affaiblis.

Et pourtant leur pouvoir ferment augmente. C'est que le temps de la fermentation devient de plus en plus grand. Mais dégageons cette influence, et pour cela contentons-nous, les expériences n'étant pas nettement comparables, de négliger la valeur de m dans l'expression du pouvoir ferment p

$$p = m + at$$

que nous avons établi dans notre dernière *Revue*. Nous obtiendrons la valeur de a en divisant le pouvoir ferment par le temps de l'action, compté en gros en jours. En faisant le calcul pour les expériences 3, 4 et 5, les seules où le pouvoir ferment soit assez élevé pour qu'on puisse négliger la valeur de m toujours voisine de l'unité, on trouve pour les valeurs de a les nombres inscrits à la dernière colonne du tableau, ce qui montre que les activités sont à peu près du même ordre, les variations que présentent les chiffres calculés s'expliquant

très aisément par les variations dans les conditions de la fermentation, dans la facilité de contact avec l'oxygène, dans l'action dépressive de l'alcool produit, etc.

Il n'y a donc rien dans cette expérience qui ne soit d'accord avec la théorie et les idées que M. Ad. Brown combat. J'en dirai autant de sa dernière expérience. Elle a consisté à faire fermenter dans 3 flacons 1, 2 et 3, fermés à la ouate, 10 grammes de sucre de canne en dissolution dans 200 c. c. d'eau de levure. Le flacon 2 a été étudié aussitôt la fermentation terminée. Dans le flacon 1, on a siphonné, la fermentation terminée, le liquide limpide surnageant le dépôt de levure, et on l'a remplacé par 10 grammes de sucre en solution dans 50 c. c. d'eau de levure. Puis cette seconde fermentation achevée, on en a refait par les mêmes moyens une troisième, après quoi on a étudié le liquide. A ce moment on a étudié de même le flacon 3, abandonné à lui-même depuis la fin de la première fermentation. Le tableau suivant donne pour chacun de ces liquides les mêmes enseignements que le tableau de plus haut.

| Numéros. | Durée de la fermentation. | Grammes de sucre fermenté. | Poids de la levure en gr. | Nombre prop. de cellules. | Pouvoir ferment. | Activités. |
|----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------|
| 1 | 13 jours. | 30 | 0,299 | 9,38 | 100 | 7,7 |
| 2 | 4 — | 10 | 0,343 | 9,02 | 29 | 7,2 |
| 3 | 13 — | 10 | 0,243 | 9,40 | 41 | 3 |

Tous ces flacons contiennent à peu près le même nombre de cellules. C'est dans le flacon 3 qu'elles sont le plus épuisées et ont le poids total le plus faible, à cause de leur séjour dans le liquide où elles ont continué à solubiliser leurs matériaux, une fois la fermentation terminée. Dans les flacons 1 et 2, il n'y a en somme de différence que celle-ci, c'est que la même quantité de levure a fait fermenter des quantités de sucre qui sont entre elles comme 1 et 3. Les pouvoirs ferments sont très différents de ce fait, mais les durées d'action sont aussi différentes, et quand on calcule, comme nous l'avons fait plus haut, l'activité, on trouve les nombres de la dernière colonne, aussi égaux qu'on pouvait le supposer en considérant que les 2 expériences sont comparables, la première n'ayant fait que répéter trois fois la seconde. Le chiffre correspondant au flacon n° 3 est plus faible, la levure ayant diminué de poids pendant l'épuisement. Il est clair que le chiffre 3 représente l'activité moyenne de la période où il y a eu fermentation et de celle où la fermentation avait cessé.

En somme, on voit que les résultats obtenus par M. Ad. Brown sont en parfaite harmonie avec les idées de Pasteur et ne peuvent, par suite, servir à les combattre.

III

Le reproche le plus fréquent fait à la théorie de Pasteur est qu'elle ne peut citer à son actif aucune expérience précise. Elle repose sur des faits et des inductions, mais nulle part Pasteur n'a essayé de séparer et d'évaluer à part les deux phénomènes principaux dont il admet la superposition dans une levure qui fermente, je veux dire la respiration au moyen de l'oxygène libre et la respiration au moyen de l'oxygène combiné. C'est une lacune que MM. Giltay et Aberson se sont proposé de combler¹. Mais la question est difficile, et *a priori* on ne pouvait s'y promettre grand succès. Essayons de voir pourquoi.

S'il existait une équation de la fermentation alcoolique, si, par exemple, la transformation du sucre se faisait toujours suivant l'équation classique



il serait très simple de séparer par le calcul le sucre qui a fermenté suivant cette équation de celui qui a subi une combustion totale. Il faudrait mesurer la quantité totale de sucre consommé, la quantité d'alcool produit et d'acide carbonique dégagé. De la quantité d'alcool formé, on conclurait la quantité d'acide carbonique de fermentation d'après l'équation écrite plus haut. Si cet acide carbonique de fermentation était inférieur à l'acide total formé pendant l'action, l'excès ne pourrait provenir que d'une combustion du sucre avec l'oxygène de l'air, et il suffirait de mettre cet excès en rapport avec la quantité de sucre non représentée par son équivalent en alcool et en acide carbonique, pour voir si la combustion de cet excès de sucre a été plus ou moins complète.

Tout ce qu'a fait Pasteur, c'est de montrer qu'au contact de l'air, il y a beaucoup d'oxygène absorbé et beaucoup d'acide carbonique produit dont l'oxygène ne peut pas provenir de l'oxygène du sucre. Mais il n'a pas déterminé le *quantum* d'acide carbonique provenant de l'oxydation du sucre, et le *quantum* provenant de la fermentation. Peut-être avait-il trop conscience des difficultés et des incertitudes de l'évaluation. C'est qu'en effet, comme on va le voir, cette méthode est extrêmement aléatoire.

Elle se heurte en effet à des difficultés théoriques et pratiques. En théorie, on sait que l'équation que nous avons écrite ci-dessus est seulement approchée. L'alcool n'est pas le seul produit qui prenne naissance aux dépens du sucre. Il y a de la glycérine et de l'acide succinique, dont la formation dégage moins d'acide carbonique pour un même poids de sucre. En face de cette erreur en moins, il faut mettre

1. *Pringsheim's Jahrbucher f. wiss. Botanik*, t. XXVI, p. 543.

une erreur en plus, qui tient à ce que la levure dégage toujours un peu d'acide carbonique de sa propre substance, alors même qu'elle n'a pas de sucre à sa disposition. Il faut évidemment admettre que cette respiration des tissus se continue même pendant qu'il y a fermentation, ou du moins on n'a aucune raison d'admettre qu'elle cesse.

Je pourrais en dire autant pour l'alcool. La formation de glycérine et d'acide succinique en diminue la proportion, pour une même quantité de sucre. La respiration de la levure, même en l'absence de sucre, en donne de petites quantités, par un mécanisme sur lequel on ne sait rien. De sorte qu'en résumé l'équation théorique que nous avons écrite n'a aucune signification pour une recherche précise. Et il faut pourtant que la recherche soit précise, car quand on opère dans les conditions ordinaires des fermentations, il n'y a pas plus de 10/0 du sucre qui puisse subir la combustion complète, eu égard aux quantités d'oxygène présentes à l'état libre. Il faudrait donc que l'équation ci-dessus fût vérifiable à moins de 1/100, or, elle ne l'est pas à 3 ou 4 0/0 près.

Il est vrai qu'on peut augmenter la proportion de sucre brûlé directement en faisant la fermentation dans des vases plats, au large contact de l'air. Mais alors on se heurte à une autre cause d'indécision, c'est que la levure se multiplie beaucoup et consacre à cela une quantité de sucre sur laquelle on ne sait rien, comme nous l'avons vu dans la *Revue* précédente. Si bien qu'il est impossible, quand on a constaté un excédent d'acide carbonique produit sur celui qui correspond à la quantité d'alcool, de savoir à quel poids de sucre s'applique cet excédent d'acide carbonique.

A ces difficultés théoriques, viennent se joindre des difficultés pratiques très grandes. Il est encore assez facile d'évaluer ce qui se fait d'alcool et d'acide carbonique dans une fermentation anaérobie. Mais quand on veut faire une fermentation au contact de l'air, soit qu'on opère dans des vases plats, soit qu'on aère à l'aide d'un courant d'air conduit dans le liquide, les causes d'erreur ou d'illusion se multiplient. La plus grave est l'évaporation d'alcool, qui, dans ces conditions, devient très rapide. On peut, il est vrai, faire passer dans un condenseur à eau froide l'air qui a circulé au contact ou au travers du liquide en fermentation. On arrête ainsi une grande partie de l'alcool, mais il y en a une petite quantité qui passe, qui s'absorbe ensuite en partie dans les tubes à potasse mis à la suite pour recueillir l'acide carbonique, et en partie se perd. Qu'il soit perdu ou qu'il soit compté comme acide carbonique, les bases du calcul sont faussées, et on ne peut plus compter sur les résultats, de sorte que la distinction expérimentale du sucre brûlé, du sucre fermenté et du sucre employé à former les tissus de la levure devient tout à fait incertaine.

MM. Giltay et Aberson ne voudraient certainement pas affirmer qu'ils ont échappé à ces diverses causes d'erreur dans l'exécution ou dans l'interprétation de leurs expériences. Ils ont atténué le plus possible celles qu'ils ont reconnues et dont ils pouvaient se rendre maîtres. Peut-être ont-ils eu le tort de ne diriger que des raisonnements contre celles sur lesquelles ils ne croyaient pouvoir rien. C'est ainsi, par exemple, qu'ils ne tiennent aucun compte de la formation de glycérine et d'acide succinique en arguant de deux choses, d'abord de ce que l'expérience a été trop courte pour qu'il y ait formation en quantité sensible de ces deux substances, ensuite de ce qu'ils en ont trouvé très peu dans le liquide fermenté.

Il est vrai que leurs expériences de mesure ont duré seulement 2 heures en moyenne. En présence de 2 ou 3 grammes de sucre, on mettait environ 10 grammes de levure, pesée à l'état humide et correspondant à 2 ou 3 grammes à l'état sec. Dans ces conditions, la fermentation était rapide, et en deux heures la presque totalité du sucre avait disparu. Mais on ne voit pas en quoi cette rapidité, due à l'exagération de la proportion entre la levure et le sucre, peut influencer l'activité de chaque cellule individuelle, et diminuer la proportion de glycérine ou d'acide succinique normalement formés aux dépens du sucre. Quant à n'avoir trouvé que de petites quantités de glycérine et d'acide succinique dans leur liquide fermenté, outre que la recherche est difficile lorsque la levure est en excès, il n'est pas démontré que cette glycérine et cet acide succinique produits pendant la fermentation aient émigré assez vite du protoplasma dans le liquide ambiant pour y devenir sensibles à l'analyse. Mais, dès qu'ils sont formés, même dans ce protoplasma, ils s'est formé aussi de l'acide carbonique, et la cause d'erreur que nous avons signalée plus haut persiste.

En outre de ces causes d'erreur, mal reconnues ou insuffisamment évitées, il y a dans le travail, très consciencieux du reste, de MM. Giltay et Aberson, des singularités qui étonnent. C'est ainsi, par exemple, qu'ils se demandent (p. 564) si la partie de sucre qu'ils considèrent comme complètement oxydée a été brûlée à l'état de sucre, ou a passé d'abord par l'état intérimaire d'alcool. Pour le savoir, ils recommencent une expérience *à blanc* en mettant de la levure en présence de solutions alcooliques à 1 et 2 0/0, et en y faisant passer un courant d'air, comme dans les cas où il y a combustion complète d'une partie du sucre. Ils ont trouvé dans le premier liquide que, dans les 2 heures de durée de l'expérience, il y avait perte de 14,9 0/0 d'alcool, et de 38,4 0/0 dans le second cas. Ils retrouvent parallèlement des augmentations de poids dans les tubes à potasse destinée à recueillir et à arrêter l'acide carbonique, et comme ces augmentations correspondent à peu

près à la quantité d'acide carbonique qu'aurait donnée, dans une combustion complète, la quantité d'alcool disparu, ils en concluent que la levure brûle l'alcool dans les conditions de leur expérience. Ce fait serait des plus importants et constituerait une découverte de premier ordre s'il était démontré. Malheureusement il ne l'eût été que si MM. Giltay et Aberson s'étaient demandé si, par hasard, la perte d'alcool et l'augmentation de poids de leurs tubes à potasse n'étaient pas dues à l'alcool entraîné par le courant d'air qu'ils faisaient circuler dans leurs vases.

Ils n'ont donc pas rencontré le détail précis qu'ils cherchaient, mais la physionomie générale des faits qu'ils ont observés est d'accord avec ce qu'on pouvait prévoir. C'est ainsi qu'ils ont trouvé qu'à l'abri de l'air, le pouvoir ferment, tel que l'avait défini Pasteur, est plus grand qu'au contact de l'air; que la quantité de sucre non représentée dans l'alcool, l'acide carbonique et la levure produite, quantité qu'on peut supposer avoir subi une combustion plus ou moins complète est au contraire plus grande au contact de l'air. Mais, en outre de ces faits déjà connus, il y en a quelques autres plus nouveaux et qui méritent de fixer un instant l'attention.

MM. Giltay et Aberson ont comparé des fermentations dont les unes étaient abandonnées à elles-mêmes aussitôt la levure introduite, pendant que d'autres étaient exposées à un courant d'air ordinaire, d'air à 50 0/0 d'oxygène et d'oxygène pur, le tout à raison d'environ 4 litre de gaz par minute. Malheureusement, toutes ces expériences sont indépendantes, faites à des jours différents, et par là moins comparables que si elles avaient été faites le même jour par groupes de quatre. Dans leur ensemble, on voit pourtant que la quantité d'acide carbonique excédant celle qui correspond à la quantité d'alcool formé, et qu'on peut supposer provenir d'une combustion complète, ne varie pas beaucoup, que le gaz qui circule soit à 20 0/0, à 50 0/0, ou à 100 0/0 d'oxygène. En d'autres termes, la puissance de combustion de la levure n'augmente que dans une faible mesure avec le titre en oxygène du gaz mis à sa disposition. Déjà M. Schutzenberger avait remarqué¹ que le pouvoir respiratoire, c'est-à-dire la quantité d'oxygène que l'unité de poids de levure transforme en acide carbonique dans l'unité de temps, ne dépend pas de la richesse en oxygène du milieu où cette levure respire. C'est que la levure n'est pas un simple foyer de combustion bien garni, possédant des quantités indéfinies de matière oxydables. C'est aussi qu'il ne suffit pas, comme je le faisais remarquer dans la *Revue* précédente, d'augmenter la proportion d'oxygène à l'extérieur du protoplasma, pour l'augmenter également dans l'intérieur.

1. *Les Fermentations*. Paris, Alcan, p. 151.

Chaque levure semble avoir à ce point de vue des propriétés particulières. La levure de lactose, que j'ai découverte et étudiée dans ces *Annales* (I, p. 573), mène une vie presque exclusivement anaérobie, et donne presque exclusivement de l'alcool et de l'acide carbonique dans des solutions sucrées et aérées, où les levures ordinaires manifestent déjà des effets de combustion totale très prononcés. On pourrait, en cherchant, trouver d'autres exemples de ces différences, et il n'y a rien là qui doive étonner. On peut, avec le même acier faire une infinité de ressorts de même forme, mais dont chacun a son degré de puissance et sa limite d'élasticité. Ainsi sont les levures.

En résumé, comme on voit, MM. Giltay et Aberson sont d'accord avec les idées générales de Pasteur et ont raison de les défendre contre la théorie de Nägeli. Ils comparent aussi leurs résultats à ceux qu'avaient obtenus avant eux MM. Hansen et Pedersen, mais ici nous pouvons les abandonner et étudier les conclusions des deux savants d'après la lumière des notions développées dans la *Revue* précédente.

IV

MM. Pedersen et Hansen concluent tous deux à ceci : c'est que si l'aération augmente la rapidité de multiplication de la levure de bière, elle diminue son pouvoir ferment. C'est la conclusion de Pasteur. Seulement MM. Hansen et Pedersen y arrivent par des moyens différents. Ils évaluent la consommation de sucre par la diminution de densité du liquide fermentant, et au lieu de peser leur levure, ils comptent le nombre des globules. Comme ils opèrent dans un milieu très nutritif, on peut admettre que le poids de la levure est à peu près proportionnel au nombre des globules, mais cette hypothèse est toujours sujette à caution. Quoi qu'il en soit, en comparant les nombres de globules dans deux fermentations identiques, dont l'une est abandonnée à elle-même après l'ensemencement, tandis que l'autre est soumise à un courant d'air, ils trouvent, par exemple, dans un cas, que lorsque les deux fermentations sont arrivées au même point, il y a, pour 10 globules de levure ensemencés à l'origine, 112 globules dans la fermentation non aérée et 234 dans l'autre. Dans un autre cas, où les fermentations étaient moins avancées, mais encore arrivées au même point, il y avait 73 globules, pour 10 ensemencés, dans la fermentation non aérée, et 143 dans la fermentation aérée.

Les fermentations ayant été poussées au même point dans chacun des deux exemples qui précèdent et que je choisis dans le tableau général, il y avait eu, non pas le même travail accompli, mais le même poids de sucre disparu, et comme il y avait en moyenne dans la fermenta-

tation aérée deux fois plus de levure que dans l'autre, c'est donc que le pouvoir ferment de la levure tel que l'avait défini Pasteur était plus faible en présence de l'air.

Mais les temps de l'action n'étaient pas les mêmes dans les deux cas. Il avait fallu, dans le premier exemple, 3 jours à la fermentation non aérée, 2 à la fermentation aérée. Dans le second exemple, les temps correspondants étaient de 48 heures et de 36 heures. Il faut tenir compte de ces temps différents si on veut avoir ce que nous avons appelé les *activités* de la levure dans les deux conditions, et nous n'avons qu'à nous rapporter aux formules insérées page 123 de ce volume.

Appelons S la quantité de sucre disparue au bout de 3 jours dans notre premier exemple dans la fermentation non aérée, l la quantité de levure produite, et a l'activité de la levure non aérée, nous avons :

$$S = ml + 3al$$

Appelons de même l' la quantité de levure produite en 2 jours dans la fermentation aérée, et a' l'activité de la levure dans ce cas, nous avons de même :

$$S = ml' + 2a'l'$$

et comme $l' = 2l$

$$S = 2ml + 4a'l$$

On a donc

$$ml + 3al = 2ml + 4a'l$$

d'où

$$m + 3a = 2m + 4a'$$

et

$$3a = m + 4a'$$

On tirerait de même, du second exemple, l'équation :

$$ml + 2al = 2ml + 3a'l$$

d'où

$$m + 2a = 2m + 3a'$$

et

$$2a = m + 3a'$$

On n'a pas le droit de combiner ensemble ces deux équations, et d'en tirer les valeurs de a , a' , et m , car les deux groupes d'expériences dont on les tire ne sont pas comparables entre eux. Mais les deux expériences de chacun des groupes sont comparables l'un à l'autre, et on voit que dans chacune des équations, quelle que soit la valeur donnée à m , a' est plus que a , ce qui conduit à la conclusion que l'activité de la levure, c'est-à-dire la quantité de sucre que la levure détruit dans l'unité de temps, sous l'unité de poids, est en effet plus faible, toutes choses égales d'ailleurs, en présence qu'en l'absence de l'air.

Cette conclusion ne vaut évidemment que pour les conditions et dans les limites de précision pour lesquelles elle a été obtenue. Elle est pourtant d'accord avec ce que nous avons appris à la fin de la *Revue* précédente. Enfin, nous sommes très préparés aussi à accepter cette notion que la ration alimentaire en présence de l'air est plus

petite qu'à l'abri de l'air, attendu que dans ce dernier cas l'aliment est beaucoup plus mal utilisé, et il en faut davantage pour le même travail.

Je n'insisterai pas davantage. On pourrait discuter de même d'autres mémoires, destinés dans la pensée de leurs auteurs soit à confirmer, soit à contredire les notions et les conclusions de Pasteur au sujet du pouvoir ferment. Nous retrouverions pour eux les mêmes conclusions que ci-dessus, à savoir que ceux qui approuvent n'approuvent pas toujours en parfaite connaissance de cause, tandis que ceux qui désapprouvent ne le font qu'en établissant, entre le pouvoir ferment et l'activité, une confusion que nous avons essayé de faire disparaître, et qui, une fois évanouie, laisse l'harmonie là où on n'avait vu qu'une entière discordance. Telle est au moins mon opinion. J'ai donné dans ces deux *Revues* les idées et les faits sur lesquelles elle repose. Mais je n'ai aucune prétention à en faire un dogme. Tout ce que j'ai voulu, est d'amener à réfléchir sur ce sujet ceux que la question intéresse.

E. DUCLAUX.

DAVID BRUCE. — Rapport préliminaire sur le Nagana, ou maladie de la mouche tsé-tsé dans le Zouloulouland, *Obombo, Zouloulouland*.

Les récits des voyageurs sont remplis d'anecdotes relatives à la terrible mouche tsé-tsé, qui rend inhabitables ou dangereuses à traverser certaines régions, et qui est, dit-on, tellement redoutée des animaux que son bourdonnement seul les rend furieux ou les met en fuite. S'il faut en croire les premières constatations de M. D. Bruce, qui a étudié la question dans le pays des Zoulous, la vérité est beaucoup moins dramatique. La mouche tsé-tsé est une petite mouche de la grandeur de celle qui dans nos régions vit sur le bétail, dont la piqûre seule est assez douloureuse, car, soit qu'elle ait été tuée sur place ou qu'elle ait pu se remplir l'abdomen du sang de sa victime, la rougeur et la douleur qui suivent la blessure ressemblent à celles que produit le vulgaire cousin. Quant aux suites, elles sont nulles, et M. David a eu beau aller chercher des tsé-tsés dans les régions les plus dangereuses, et leur faire piquer des animaux très sensibles à leurs morsures, aucun n'a été malade, sauf un, que nous retrouverons tout à l'heure.

Il existe pourtant une *maladie de la mouche*, ou Nagana, invariablement mortelle pour le cheval, le chien, mais dont le porc, la vache se relèvent quelquefois. Elle est caractérisée par la fièvre, une infiltration de lymphes coagulable dans le tissu sous-cutané du cou, de

l'abdomen ou des extrémités, une émaciation extrême, une destruction plus ou moins rapide des globules rouges du sang, et la présence constante dans la circulation d'un hématozoaire particulier, identique ou du moins très analogue au *Trypanosoma Evansi* trouvé dans une maladie qui ressemble au Nagana, et qui sévit dans l'Inde.

La liaison entre le parasite et la maladie ne semble pas douteuse. Le parasite apparaît dans le sang dès que la maladie se manifeste par un de ses symptômes. Il se multiplie à mesure que la maladie suit son cours, disparaît lorsqu'il y a guérison, et, lorsqu'il y a mort, envahit à tel point le sang que M. Bruce en a trouvé une fois 73,000 par centimètre cube.

Cet hématozoaire est un corps transparent et allongé, très mobile, glissant à la façon d'un serpent entre les globules, et semblant vivre d'eux ou avoir au moins la faculté de les disloquer. Il a en épaisseur environ le quart de leur diamètre et 2 à 3 fois leur longueur. Il n'a donc aucune ressemblance avec le microbe de la malaria, qui pourtant ressemble au Nagana par quelques-uns de ses symptômes, et là-dessus on a pensé qu'on pouvait être atteint du Nagana dans les pays dangereux, comme on est atteint des fièvres paludéennes dans les régions malariques. L'idée était d'autant plus naturelle que les régions à Nagana sont des régions chaudes et humides, voisines de la côte ou du bord des fleuves, et ne s'étendant pas sur les plateaux qui les bordent.

Cette hypothèse semble tout à fait inexacte, et M. Bruce me paraît, sinon avoir absolument démontré, du moins avoir rendu très probable le rôle de la mouche tsétsé dans la propagation de cette maladie. La morsure d'une de ces mouches, nous l'avons dit, est d'ordinaire inoffensive, mais si la mouche a sucé auparavant le sang d'un animal atteint du Nagana et infecté d'hématozoaires, son dard proboscidien en reste couvert, et elle inocule le parasite et la maladie à l'animal sain qu'elle a piqué. C'est ce qui résulte d'expériences très nettes faites sur les chiens, animaux très sensibles à la maladie. On enferme des mouches dans un sac de gaze ; on les place d'abord sur un animal malade, puis on les rapporte sur un animal sain. Quelques jours après, ce dernier présente les symptômes habituels de la maladie, et des parasites apparaissent dans son sang. On peut aussi inoculer directement du sang d'un malade à un animal sain : le résultat est le même.

Enfin, ce qui prouve que la région dangereuse ne l'est pas par l'air qu'on y respire, ou la nourriture qu'on y trouve, mais par les chances qu'on a d'y rencontrer des mouches dont le dard est chargé de parasites, c'est qu'on peut réussir à donner la maladie dans des régions saines, à un animal qu'on fait piquer par des mouches récoltées au pays dange-

reux. M. D. Bruce a fait plusieurs tentatives dans cette voie avant de réussir. Il a enfin communiqué un Nagana très authentique à un cheval qu'il avait conservé sur le plateau sain d'Obombo. Mais il a fallu pour cela le faire piquer par un grand nombre de mouches, prises dans la région dangereuse qui est au-dessous de la ville. Voici le résumé de l'expérience. Le 22 novembre, 10 mouches; le 28, 10; le 30, 9; le 1^{er} décembre, 5; le 2, 13; le 4, 20; le 6, 7; le 8, 30; le 11, 11; le 14, 14; le 15, le cheval est malade, sa température a augmenté et il y a des hématozoaires dans son sang.

On peut de même donner le Nagana à un cheval en l'envoyant passer quelques heures dans la région dangereuse, et sans qu'il y prenne la moindre nourriture, à la condition qu'il soit exposé à la morsure des tsétsés. Il ne semble donc pas douteux que cette mouche qui s'est fait une terrible réputation ne soit qu'une simple mouche inoffensive, mais convoyeuse de germes dangereux.

Dx.

INSTITUT PASTEUR

STATISTIQUE DU TRAITEMENT PRÉVENTIF DE LA RAGE
OCTOBRE, NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1895

| | A | | B | | C | |
|--|----|----|-----|-----|----|----|
| Morsures à la tête { simples | 4 | 5 | 11 | 26 | 2 | 6 |
| et à la figure { multiples | 1 | | 15 | | 4 | |
| Cautérisations efficaces | » | » | » | » | » | » |
| — inefficaces | 1 | » | 9 | » | 3 | » |
| Pas de cautérisation | 4 | » | 17 | » | 3 | » |
| Morsures aux mains { simples | 5 | 13 | 89 | 154 | 24 | 40 |
| — multiples | 8 | | 65 | | 16 | |
| Cautérisations efficaces | » | » | 5 | » | » | » |
| — inefficaces | 6 | » | 64 | » | 17 | » |
| Pas de cautérisation | 7 | » | 85 | » | 23 | » |
| Morsures aux mem- { simples | 5 | 17 | 44 | 86 | 23 | 42 |
| bres et au tronc { multiples | 12 | | 42 | | 19 | |
| Cautérisations efficaces | » | » | 3 | » | » | » |
| — inefficaces | 16 | » | 33 | » | 16 | » |
| Pas de cautérisation | 1 | » | 50 | » | 26 | » |
| Habits déchirés | 12 | » | 73 | » | 33 | » |
| Morsures à nu | 5 | » | 13 | » | 7 | » |
| Morsures multiples en divers points du corps | » | » | » | » | » | » |
| Cautérisations efficaces | » | » | 5 | 5 | 1 | 1 |
| — inefficaces | » | » | » | » | » | » |
| Pas de cautérisation | » | 2 | » | » | 1 | » |
| Habits déchirés | » | 3 | » | » | » | » |
| Morsures à nu | » | 2 | » | » | » | » |
| | » | 3 | » | » | 1 | » |
| <hr/> | | | | | | |
| Totaux. { Français et Algériens . . | 17 | 35 | 216 | 266 | 77 | 83 |
| — Etrangers | 18 | | 50 | | 6 | |
| | A | | B | | C | |
| <hr/> | | | | | | |
| TOTAL GÉNÉRAL | | | | 384 | | |

La colonne A comprend les personnes mordues par des animaux dont la rage est reconnue expérimentalement; la colonne B, les personnes mordues par des animaux reconnus enragés à l'examen vétérinaire; la colonne C, les personnes mordues par des animaux suspects de rage.

Les animaux mordeurs ont été : chats : 10 fois; bœufs : 3 fois; chiens : 271 fois.

Le Gérant : G. MASSON.

Sceaux. — Imprimerie Charaire et C^{ie}.